

D47

# DIN CUCERIRILE ȘTIINȚIFICE ALE SECOLULUI XX



g. 44833 ✓

0

Editura Științifică. ● București 1965







# Cuprinsul

|                                                                                               |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Acad. D. DUMITRESCU                                                                           |     |
| Știința și tehnica în slujba desăvârșirii construcției socialiste în R.P.R.                   | 7   |
| Acad. E. BĂDĂRĂU                                                                              |     |
| Plasma, și aplicațiile ei .....                                                               | 19  |
| N. MARTALOGU                                                                                  |     |
| Reacții nucleare. Rolul lor în știința și tehnica modernă.....                                | 43  |
| M. ONCESCU                                                                                    |     |
| Izotopii radioactivi și folosirea lor în economia națională.....                              | 63  |
| L. CIPLEA                                                                                     |     |
| Fuziunea termonucleară dirijată, perspective și realizări.....                                | 85  |
| GH. MASTACAN                                                                                  |     |
| Originea elementelor în componența chimică a Pământului și a universului .....                | 109 |
| P. SPACU                                                                                      |     |
| Sistemul periodic al lui D.I. Mendeleev în lumina celor mai noi descoperiri științifice ..... | 137 |
| S. GÎDEA                                                                                      |     |
| Metalele rare și rolul lor în tehnică.....                                                    | 149 |
| TR. D. GHEORGHIU                                                                              |     |
| Semiconductoarele și rolul lor în tehnică .....                                               | 159 |
| C. CUCUREZEANU                                                                                |     |
| Generatoare și amplificatoare cuantice (maseri și laseri).....                                | 183 |
| E. DAMACHI                                                                                    |     |
| Televiziunea și aplicațiile ei.....                                                           | 207 |
| EDM. NICOLAU                                                                                  |     |
| Cibernetica .....                                                                             | 227 |



## Cuprinsul

## S. CONDREA

|                                                   |     |
|---------------------------------------------------|-----|
| Teoria informației în tehnica comunicațiilor..... | 247 |
|---------------------------------------------------|-----|

## V. TOMA

|                                                                     |     |
|---------------------------------------------------------------------|-----|
| Mașinile electronice de calcul, un important factor de progres..... | 263 |
|---------------------------------------------------------------------|-----|

## E. FRIEDLÄNDER

|                                                      |     |
|------------------------------------------------------|-----|
| Radiația cosmică și rolul ei în știința modernă..... | 283 |
|------------------------------------------------------|-----|

## V. VÂLCOVICI

|                                                 |     |
|-------------------------------------------------|-----|
| Concepții moderne despre natura planetelor..... | 301 |
|-------------------------------------------------|-----|

## D. ANDREESCU

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| Navigația cosmică ..... | 321 |
|-------------------------|-----|



Știința și tehnica  
în slujba desăvârșirii construcției  
socialiste în R.P.R.

---

Acad. D. DUMITRESCU







Mărețele cuceriri ale științei contemporane dezvăluie forța nemărginită a geniului uman, pătrunderea sa vertiginoasă în laboratorul creator al naturii. Ele au ridicat puterea de stăpânire a omului asupra naturii la înălțimi nebănuite chiar cu câteva zeci de ani în urmă. Iată de ce interesul profund pentru problemele actuale ale științei a cuprins, în ultimii ani, cele mai largi mase de oameni din lumea întreagă. Pentru lumea socialistă, progresul științei, încrederea în atotputernicia ei, folosirea științei pentru dezvoltarea necontenită a forțelor de producție și îmbunătățirea vieții oamenilor au devenit trăsături caracteristice.

Generația noastră este martora unui avânt fără precedent al dezvoltării științei, al creării unor noi domenii de cercetare, al pătrunderii tot mai adânci în dezvăluirea structurii materiei, în cuprinderea mai largă a universului, în dezlegarea legilor apariției și dezvoltării vieții, în studierea fenomenelor sociale și a mersului înainte al umanității. Știința modernă pătrunde în toate domeniile, accelerând ritmul de dezvoltare a societății, deschizând perspective largi progresului material și spiritual al omenirii.

Știința și aplicațiile sale constituie parte integrantă din frontul larg al construcției socialiste, factor important pentru dezvoltarea bazei tehnice-materiale a socialismului, pentru consolidarea relațiilor socialiste de producție, pentru desfășurarea revoluției culturale. Tocmai de aceea una din principalele condiții pentru îndeplinirea cu succes a desăvârșirii construcției socialiste o constituie introducerea cuceririlor științei în toate ramurile economiei naționale, sănătății și culturii poporului. Așa se și explică faptul că în societatea noastră socialistă dezvoltarea multilaterală a științei a devenit o problemă de stat căreia partidul și guvernul îi acordă toată atenția.

„Înaintarea spre comunism este de neconceput fără o tehnică creată pe baza celor mai noi realizări ale științei”<sup>1</sup>, spunea Lenin, și în acest scop partidul nostru asigură științei un avânt fără precedent în istoria poporului nostru, transformînd-o într-un factor important al dezvoltării societății.

În trecut, datorită înapoierii generale a țării ca rezultat al aservirii ei intereselor capitalului străin și autohton și lipsei de preocupare din partea statului pentru dezvoltarea științei și culturii, știința a fost menținută la un nivel scăzut, deși țara noastră a avut oameni de știință valoroși.

---

<sup>1</sup> V. I. L e n i n, *Opere*, vol. 31, Editura Politică, București.



Instaurarea regimului de democrație populară și apoi desfășurarea construcției socialiste au adus o cotitură radicală și în dezvoltarea științei în țara noastră.

În cei 20 de ani care au trecut de la mărețul eveniment din august 1944 — eliberarea României de sub jugul fascist — în țara noastră au avut loc profunde schimbări în cercetarea științifică, în organizarea Academiei, a rețelei de institute științifice, în procesul de formare a cadrelor, în problematica de cercetare, schimbări care se reflectă în proporția și ritmul imprimat cercetării teoretice fundamentale și aplicațiilor științei în producție.

După cum este știut, în afara institutelor aparținând universităților și ministerelor, în anii regimului democrat-popular s-au înființat 33 de institute și șapte centre de cercetări științifice ale Academiei. Muncii științifice i-au fost create de către statul nostru condiții materiale și ideologice optime de dezvoltare. Numai în anul 1963 fondurile alocate cercetării științifice au ajuns la aproape un miliard de lei. Partidul a stimulat în permanență capacitățile oamenilor de știință, orientându-i spre concepția filozofică marxist-leninistă, singura filozofie științifică.

Ca urmare, oamenii noștri de știință au obținut valoroase rezultate științifice apreciate în țară și peste hotare, ridicând la un nivel superior tradițiile progresiste ale științei românești.

Matematicienii și-au îndreptat eforturile spre cercetări de analiză funcțională, de teoria funcțiilor, geometrie diferențială, algebră, dinamica gazelor la viteze mari etc. În domeniul fizicii au fost aduse contribuții la studiul structurilor nucleelor atomice, al interacțiunii dintre particule din diferite stări de agregare și la studiul interacțiunilor particulelor elementare. De asemenea se remarcă cercetările privind fizica reactorilor și cele de chimia radionucleizilor, cât și aplicațiile izotopilor stabili. Studii importante s-au efectuat în domeniul fizicii solidului: efectul-tunel în semiconductoare și unele proprietăți ale acestora etc. Cercetările de chimie au condus la date noi cu privire la natura legăturii chimice din combinații coordinative, studiul amestecurilor binare de săruri topite, studiul unor heteropolianioni în echilibrul acidobazic și oxido-reducător al acestora. Cercetările din seria ciclobutanului au dus la sintetizarea, pe o cale relativ ușor accesibilă, a celor doi izomeri ai dimerului ciclobutadienei.

În științele tehnice se remarcă extensiunea teoriei stabilității sistemelor neliniare la sisteme cu mai multe neliniarități, elaborarea unei teorii de analiză pe laturi a rețelelor electrice, studiile în legătură cu procesele de ardere a combustibililor lichizi și gazoși; a fost elaborată o metodă nouă pentru calculul vitezei unei suprafețe portante în curent supersonic, s-a extins teoria lubrificației în cazul suprafețelor cu mișcare de rostogolire; s-a elaborat o teorie a mișcării fluidelor grele cu suprafață liberă, au fost studiate pe cale ultrasonică modificările structurii metalelor cauzate de oboseală ș.a.

Cercetările de geologie au clarificat unele probleme de sedimentogeneză, s-au stabilit asociații caracteristice de microorganisme în vederea separării diferitelor etaje stratigrafice. În domeniul geografiei au continuat studiile asupra traseelor văii Dunării și formațiunilor de dune care apar asociate cu



acestea și au fost obținute rezultate privind microrelieful văii Dunării, bilanțul hidrologic, variațiile de debit și de nivel ale unor ape.

Biologii au continuat cercetările pentru elaborarea lucrărilor *Flora R.P.R.* și *Fauna R.P.R.*, iar cercetările de citofiziologie la unele plante au contribuit la clarificarea din punct de vedere teoretic a mecanismelor care au loc la nivelul celular; în fiziologia animală s-au înregistrat progrese în studiul fenomenului echilibrului ionic din organism și în cercetările asupra reglării metabolismului la păsări. În științele agricole s-au continuat lucrările pentru elaborarea ampelografiei și pomologiei din R.P.R., precum și cercetările de pedologie.

În științele medicale s-au obținut date noi privind rolul mediatorilor chimici în transmiterea influxului nervos și rolul reflexelor vasomotorii în determinismul accidentelor vasculare cerebrale; în studiul sistemului cord-pulmon, în electrofiziologie și în studiul dinamicii celulare; s-au izolat noi fracțiuni hormonale epifizare; s-au studiat relațiile între adenovirusuri și producerea cancerului pulmonar, precum și transformarea, în afara celulei, a unor acizi nucleici inerti în acizi nucleici infecțioși.

Prin munca sa planificată și voința sa neclintită, partidul nostru urmărește ca „știința să ne intre cu adevărat în sine, să devină pe deplin și într-adevăr un element component al vieții noastre de toate zilele”<sup>1</sup>.

În fața acestor constatări, care subliniază rolul important al științei, este normal să ne punem întrebarea: de ce oare știința este așa de prețuită? Care este rolul ei în construcția societății în general și a societății noastre socialiste în special? Care sînt caracteristicile științei în comunism? Care sînt problemele filozofice ale științei contemporane?



Progresul social se caracterizează prin gradul în care omul stăpînește forțele naturii și prin priceperea sa de a le folosi în interesul omenirii. În rezolvarea acestor probleme, un rol important revine științelor naturii, care contribuie la cucerirea forțelor naturii, la perfecționarea producției, la creșterea productivității muncii.

Primele semne ale progresului social le-au constituit primele realizări tehnice. Cu ajutorul armelor și uneltelor rudimentare confecționate din piatră sau din os, omul primitiv a putut să pescuiască, să vîneze, să se apere de dușmani cu mai mult succes și să-și asigure în modul acesta condiții favorabile de existență.

Condițiile materiale ale vieții, și în primul rînd activitatea de muncă a omului, au influențat, la rîndul lor, viața sa spirituală. Asistăm, așadar, la o influență reciprocă și continuă a omului asupra naturii și, invers, a naturii asupra omului. Omul modelează natura și este modelat de natură.

Rezultatul muncii spirituale a omului declanșează, la rîndul lui, interven-

<sup>1</sup> V. I. L e n i n, *Opere*, vol. 33, Editura Politică, București, 1957, p. 484.



ția acestuia, desfășurată după legile naturii. Tehnica fiind totalitatea mijloacelor de exteriorizare a omului în vederea obținerii celor mai bune condiții de existență materială și spirituală, ea nu apare numai ca un factor important al progresului social, ci ca o parte integrantă a însuși progresului social.

Dezvoltându-și cunoștințele sale rudimentare despre legile naturii și proprietățile obiectelor, omul și-a perfecționat continuu uneltele, izbutind cu ajutorul tehnicii să se ridice de la starea primitivă la starea de cultură pe care o are astăzi.

În fiecare epocă a istoriei și în fiecare loc al Pământului vom vedea născându-se o tehnică specifică, determinată de necesitățile sociale și bazată pe rezultatele științifice.

Pe baza activității practice asupra naturii, mînat tocmai de necesitățile acesteia, omul a ajuns la cunoașterea treptată a legilor lumii naturale.

Știința este, așadar, un produs social, și acest caracter al ei devine din ce în ce mai accentuat; ea nu poate exista și nu se poate dezvolta în afara societății și independent de ea, așa cum afirmă unii teoreticieni burghezi.

Izvorul dezvoltării științei fiind practica socială, caracterul acestei dezvoltări nu poate să nu depindă, în ultimă instanță, de caracterul orînduirii sociale.

Știința — sistemul nostru de cunoștințe despre natură, societate și gîndire — se găsește într-un continuu proces istoric de dezvoltare pe baza practicii sociale.

În aceste condiții, știința modernă se transformă tot mai mult într-o forță materială de producție, devine în deplină măsură o nemijlocită forță de producție. Karl Marx a prevăzut că, pe măsura dezvoltării marii industrii, crearea unei adevărate bogății va depinde din ce în ce mai mult de starea generală a științei și de gradul de dezvoltare a tehnologiei sau de aplicarea acestei științe în producție.

În epoca noastră, ca niciodată, apare în mod evident caracterul social al științei: creația științifică devine sfera dezvoltării nemijlocite a forțelor creatoare ale omului, dar nu numai a geniilor, ci a întregii omeniri. Caracterul social al științei se manifestă nu numai în sensul că ea slujește progresului omenirii, ci și în acela că cuprinde pături tot mai largi de oameni. În acest sens, știința devine o cauză general-umană.

Dintre științele contemporane ale naturii, o importanță deosebită pentru tehnică a căpătat-o fizica. Fizica secolului al XX-lea a descoperit lumea particulelor elementare, a elucidat structura nucleului atomic, unele legi ale mișcării și interacțiunii microparticulelor și condițiile generale ale reunirii lor în sisteme complexe. Cunoașterea legilor microcosmului și ale proprietăților spațiului și timpului, care pînă de curînd erau complet necunoscute, a produs o revoluție în fizică, și în general în științele naturii.

Astăzi metodele de cercetare ale fizicii moderne sînt folosite în toate domeniile tehnicii. Analiza cu ajutorul razelor Roentgen, microscopia electronică și metoda trasorilor radioactivi permit să se stabilească nu numai structura metalelor și a aliajelor, dar și să se studieze procesele transformărilor structurale ale acestora. Fizica modernă a semiconductoarelor a produs o revoluție în radiotehnică și electronică, iar fizica moleculară pune în evidență pro-





prietățile mecanice, electrice, termice și optice ale corpurilor solide și ale lichidelor, precum și ale compușilor organici și polimerilor.

Izotopii radioactivi ne ajută să aflăm ce se petrece cu atomii unor substanțe care participă la diferite reacții chimice, în timp ce microscopalele electronice ne oferă posibilitatea de a vedea și fotografia structura unor substanțe cu dimensiuni infime, moleculare.

Acceleratoare gigantice de particule elementare și numeroase alte aparate și dispozitive extrem de complicate au deschis orizonturi noi care revoluționează fizica, chimia și biologia, Metodele matematice și mașinile electronice de calcul cu acțiune rapidă au lărgit considerabil posibilitățile cercetărilor.

Succesele fizicii au exercitat o influență uriașă asupra dezvoltării chimiei moderne și legăturile dintre aceste științe sporesc necontenit.

Chimia a pătruns în lumea celor mai complexe molecule, descoperind legăturii chimice pe baza cărora un număr relativ mic de elemente chimice dă o uriașă varietate de compuși chimici și a stabilit posibilități noi, mai raționale, de sinteză a acestor compuși.

Căutând căi noi de sinteză, chimia secolului al XX-lea folosește tot mai mult mijloacele fizicii, ca: influența temperaturilor și presiunilor ridicate și supracoborite, a electricității, a luminii, a radiațiilor radioactive, a ultrasunetului etc., precum și metode specifice chimiei, cum este cataliza.

Folosirea numeroaselor mijloace de care dispune știința permite să se obțină cele mai complexe sinteze în condiții foarte economice — din materii prime ieftine, existente pretutindeni — și în termenul cel mai scurt.

Din cele de mai înainte se pot trage o serie de concluzii importante relativ la raportul dintre știință și tehnică, și anume: științele naturii, în ansamblu, cuprind suma cunoștințelor omului despre forțele și însușirile naturii, pe câtă vreme tehnica se referă mai ales la aplicarea concretă a acestor cunoștințe în sfera producției de bunuri materiale.

Caracteristica cercetărilor în domeniul științelor naturii este orientarea spre problemele cele mai generale și mai importante ale practicii omenești, izvorite direct din observarea naturii. Cercetările în domeniul științelor naturii converg, pe baza legăturilor nou descoperite (sau a celor vechi, aprofundate și corectate), spre o finalitate practică, realizabilă într-un interval de timp mai mare sau mai mic. Independent de durata atingerii acestei finalități, scopul rămâne transformarea și stăpânirea naturii de către om. De obicei, aceste cercetări nu stabilesc și modul în care se face aplicarea concretă a legăturilor obiective evidențiate în cadrul practicii sociale.

Rolul tehnicii este de a pune în practică teoriile formulate de științele naturii, contribuind în modul acesta la ridicarea nivelului de trai al oamenilor.

Este neîndoielnic că între aceste două domenii există o anumită demarcație, care, la un anumit nivel de dezvoltare a forțelor de producție, începe să devină tot mai greu de definit.

În epoca noastră are loc nu numai un progres extraordinar al tuturor științelor, dar și un proces de întrepătrundere din ce în ce mai profundă și mai multilaterală a științei și tehnicii.



Se pot da nenumărate exemple despre modul în care dezvoltarea într-o anumită perioadă a cercetării științifice într-un anumit domeniu, a provocat un progres tehnic corespunzător; de asemenea nu puține sînt exemplele în sens invers, care demonstrează cît de variate probleme de înalt nivel științific pot fi dezvoltate pornindu-se de la probleme tehnice curente, puse de nevoile dezvoltării bazei materiale a societății. Asemenea exemple sînt: dezvoltarea lucrărilor în multe domenii ale fizicii, metode noi de rezolvare aproximativă a celor mai complicate probleme matematice, cercetările în domeniul chimiei radioactive și biologiei radioactive, în domeniul geochimiei, al fizicii plasmei în legătură cu industria atomică, în logica matematică, în procesele de conducere și în teoria informației etc.

Procesele și direcțiile revoluției științifice contemporane, de care ne-am ocupat în parte mai sus, duc, pe măsura dezvoltării lor, la schimbarea radicală a rolului și locului științei în producția materială, la transformarea ei într-o forță de producție nemijlocită.

De fapt, știința a început să pătrundă în producție o dată cu introducerea tehnicii mecanice și a tehnologiei mecanizate complexe, însă această pătrundere se limita la folosirea legilor mecanicii în proiectarea mașinilor și a regulilor elementare de fizică și chimie, în elaborarea unor procese tehnologice care, în linii mari, se formaseră empiric.

În prezent, situația se schimbă radical. Pe măsură ce analiza și explicarea fenomenelor naturii se completează cu sinteza substanțelor, cu reproducerea artificială a proceselor și a reacțiilor, se schimbă și corelațiile dintre știință, tehnică și producția materială. Știința are nevoie absolută de o puternică bază de producție, fără de care nu se poate concepe sinteza substanțelor, realizarea artificială a diferitelor procese și reacții și dirijarea lor. Însuși procesul de sinteză a unor substanțe cu anumite proprietăți, dirijarea reacțiilor, reprezintă prin conținutul și caracterul său o producție materială sau modelul de laborator al acesteia. Este suficient să amintim cîteva „unelte” de cercetări științifice moderne, cum ar fi acceleratoarele gigantice ale particulelor elementare, avînd un diametru de cîteva sute de metri și un personal de deservire de aproape o mie de oameni, microscopul și mașinile electronice de calcul, care sînt construcții tehnice complicate etc.

La rîndul ei, producția bazată pe rezultatele unor asemenea cercetări științifice este, de fapt, întruchiparea materială, de proporții mult sporite, a procesului de cercetare științifică și de laborator.

Revoluția științifică contemporană deschide un cîmp cu totul nou pentru cercetare, care pornește din cabinetul savantului și din laboratoare și ajunge nemijlocit în sfera producției materiale. Ramuri industriale contemporane (electronica, chimia sintetică, folosirea industrială a energiei atomice etc.), a căror dezvoltare determină într-o măsură tot mai mare progresul tehnic și industrial în ansamblu, nu au existat nici în formă embrionară în formele precedente, spontane ale producției industriale. Ele s-au născut în laboratoarele științifice și au intrat în producție ca întruchipare materială și experimentală a științei.



Cercetările științifice devin o treaptă necesară a transformărilor tehnice radicale, baza introducerii unor unelte de muncă și obiecte ale muncii principial noi, a metodelor tehnologice avansate, a apariției unor noi domenii ale tehnicii și a unor noi ramuri de producție.

Știința contemporană, prin metodele și mijloacele sale, nu seamănă de loc cu știința secolului trecut și nici măcar cu știința de la începutul secolului nostru. În prezent, în domeniile de bază, știința se industrializează tot mai mult. Pentru cercetarea științifică se aplică tot mai pe larg instalații puternice și complexe, mașini electronice, instrumente și aparatură de precizie. În epoca noastră, știința nu este numai baza oricărui proces de producție, dar chiar activitatea științifică, cercetările științifice au dobândit într-un anumit sens, un caracter productiv.

O parte însemnată din ce în ce mai mare a materialelor o constituie produsele sintetice chimice elaborate de știință. O importantă trăsătură a actualei revoluții științifice constă în faptul că știința capătă treptat posibilitatea nu numai să reproducă artificial diverse substanțe existente în natură, ci să și creeze substanțe inexistente în natură, cu proprietăți dinainte stabilite. Aceasta are o mare importanță economică. Omenirea va depinde din ce în ce mai puțin de amplasarea resurselor naturale de energie, de materii prime și materiale, precum și de proprietățile naturale ale acestor materiale.

Știința elucidează natura și mecanismul proceselor de pătrundere a structurilor geologice, creează puternice mijloace de pătrundere în adâncimile Pământului; pe baza ei se creează o puternică tehnică de foraj, de extracție și de transportare a materialelor minerale. Ea asigură astfel progresul metodelor de înnobilare a materialelor naturale și de prelucrare a acestora, permițând folosirea în producție a unor materii prime socotite înainte prea sărace și nerentabile. Prin aceasta se pun la dispoziția producției mari rezerve suplimentare.

Cercetând deformarea corpurilor solide, știința contemporană rezolvă problema dirijării proceselor de formare a structurilor și de obținere a unor materiale cu proprietăți dinainte stabilite.

Savanții care lucrează în domeniul fizicii solidelor consideră că duritatea potențială a metalelor este de zeci și de sute de ori mai mare decât duritatea realizată practic în tehnică. Aceste ipoteze sînt confirmate experimental, ceea ce îndreptățește speranțele că în următorii 5—7 ani duritatea metalelor va crește cel puțin de două ori. Or, aceasta echivalează cu o sporire considerabilă a volumului producției.

Știința devine treptat o parte organică și a producției agricole. Realizările obținute în domeniul chimiei, fizicii și matematicii ne permit să pătrundem incomparabil mai adînc în mecanismul și în chimia tuturor proceselor vitale ale lumii vegetale și animale.

Biologia și fiziologia, în colaborare cu fizica și chimia, precum și cu o serie de noi științe limitrofe (biofizica, biochimia etc.), pătrund tot mai adînc în procesele ce se desfășoară în organismele animale și vegetale, schimbînd esențial, în numeroase cazuri, tehnologia producției agricole.

În prezent, în toate ramurile de producție, tehnologia devine tot mai mult o reproducție lărgită a cercetărilor științifice. Unelte de muncă sînt manipulate



tot mai frecvent și în măsură tot mai mare cu ajutorul unor dispozitive automate de comandă, care întrucoapează soluțiile obținute de către un complex de științe.

Automatizarea, care se dezvoltă pe baza cercetărilor științifice, ridică, la rîndul său, noi cerințe față de știință. Știința trebuie să asigure reacții juste ale mecanismelor la obstacole și abateri, inclusiv executarea operațiilor de corectare care să permită îndeplinirea în condiții schimbate a programului dinainte stabilit. După cum uneltele de muncă și obiectele muncii create și dezvoltate de om au devenit alături de el un element al forțelor de producție, tot așa și știința, continuînd să rămînă un element al culturii spirituale, o formă a conștiinței sociale, se transformă sub ochii noștri tot mai mult, împreună cu omul și alături de acesta, într-o forță de producție nemijlocită.



Știința contemporană este una dintre cele mai complexe realizări sociale. Dezvoltarea ei ca un complex unic nu poate fi numai opera oamenilor de știință, nu poate fi în întregime garantată de competența și responsabilitatea lor personală.

Știința a încetat de a mai fi o preocupare a savanților singuratici; ea presupune tot mai des eforturi comune ale unor colective uriașe de oameni, o strictă diviziune a muncii.

Știința s-a dezvoltat atît de mult, încît în condițiile noastre este necesar să se ia măsuri, pe de o parte, în ceea ce privește conducerea și îndrumarea activității științifice, iar pe de altă parte relativ la dezvoltarea planificată a ei.

Prima direcție în care se manifestă conducerea de către partid a activității științifice este orientarea și îndrumarea generală a acestei activități. Această îndrumare se referă, în primul rînd, la cunoașterea tematicii de ansamblu a cercetării. Pornind de la necesitatea ca activitatea de cercetare să se desfășoare într-un mod planificat în conformitate cu nevoile societății, partidul îndrumează cercetarea științifică spre rezolvarea în primul rînd a acelor probleme care sînt impuse de practica construcției socialiste în țara noastră.

Îndrumarea ideologică a activității științifice are o importanță deosebită pentru dezvoltarea științei. Ideologia exercită o influență extrem de importantă asupra direcției de dezvoltare a științelor și asupra modului în care ele servesc societatea. De aceea partidul are grijă ca cercetarea științifică, indiferent de domeniu, să fie orientată pe calea gîndirii dialectice marxiste, singura metodă care asigură progresul în orice domeniu științific.

„Cunoașterea temeinică a științei marxist-leniniste, a adevărului științific despre natură, viață, societate — arată tovarășul Gheorghe Gheorghiu-Dej —, este necesară pentru aprofundarea oricărei ramuri a științei — fizica, chimia, matematica, fără să mai vorbim de istorie, limbă, literatură. Materialismul dialectic este călăuza sigură a omului de știință. Numai această concepție permite studierea lucrurilor și fenomenelor în mișcare, dezvoltarea și transformarea lor și nu o prezentare scolastică, înțepenită a acestora”<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> G h. G h e o r g h i u - D e j, *Articole și cuvîntări*, ed. a 4-a, Editura Politică, București, 1956, p. 464.



Conștient de această necesitate, partidul duce o politică consecventă de propagare a concepției materialist-dialectice în vederea înarmării oamenilor de știință de toate specialitățile cu această concepție.

În vederea atingerii acestui scop se desfășoară o activitate susținută prin organizarea învățămîntului ideologic pentru oamenii de știință și cadrele didactice, precum și prin organizarea de dezbateri largi, pe baza teoriei marxist-leniniste, a unor probleme teoretice esențiale ale diferitelor discipline științifice.

Marea majoritate a oamenilor de știință din țara noastră au înțeles importanța materialismului dialectic pentru cunoașterea științifică și și-au însușit principiile de bază ale concepției materialist-dialectice.

Partidul desfășoară totodată o vastă activitate pentru a pune știința în slujba producției, a muncii constructoare a poporului, îmbinînd cunoștințele teoretice cu practica construcției socialismului.

Se înțelege de la sine că, în condițiile interdependenței multilaterale dintre știință și activitatea practică de producție, în condițiile cînd însuși gradul de dezvoltare al științei este rezultatul și expresia socializării și concentrării producției, planificarea conștientă și consecventă a științei presupune existența unei planificări economice de mare eficacitate. De aceea numai societatea în care planificarea și coordonarea constituie o lege obiectivă generală de dezvoltare este în stare să rezolve cu succes această grea problemă.

Din acest punct de vedere, cercetarea științifică, în ansamblu, poate să urmărească:

a) rezolvarea unor probleme mari ale economiei aflate în stadiul de experimentare, proiectare și de aplicare în producție;

b) rezolvarea unor probleme care se conturează a fi hotărîtoare pentru dezvoltarea economiei naționale într-un viitor mai apropiat sau mai îndepărtat;

c) rezolvarea unor probleme cu caracter de investigație care urmează să deschidă noi căi ale progresului societății în general.

Partidul asigură dezvoltarea armonioasă a tuturor acestor cercetări în conformitate cu necesitățile desăvârșirii construcției socialismului în țara noastră. Academiei R.P.R. și celorlalte unități de cercetare din țara noastră le revin sarcini importante în acoperirea acestor domenii de cercetare, în dezvoltarea cercetării în strînsă legătură cu necesitățile actuale și de perspectivă ale economiei naționale.

În această ordine de idei este necesară sporirea eficacității cercetării științifice, cunoașterea și valorificarea a tot ce este nou și înaintat în știința și tehnica mondială, asigurarea unei judicioase îmbinări a activității de cercetare fundamentală cu cercetarea aplicativă.

Documentele Congresului al III-lea al P.M.R. fixează totodată sarcini importante cercetării științifice din țara noastră. „Cercetarea științifică — se spune în Directivele congresului — este chemată să dea o contribuție importantă la introducerea tehnicii noi și la soluționarea problemelor tehnice-economice pe care le ridică dezvoltarea economiei naționale”<sup>1</sup>. Mai mult, partidul subli-

<sup>1</sup> Congresul al III-lea al Partidului Muncitoresc Român, Editura Politică, București, 1961, p. 680.



niază că, în condițiile mării complexități a legăturilor dintre știință și tehnică, pe de o parte, și producția de bunuri pe de altă parte, ritmul de dezvoltare al tehnicii trebuie să întrecă ritmul de creștere al producției.

Pornind de la concepția marxist-leninistă despre rolul științei, partidul vede în legarea științei cu practica o lege rezultată din înalta apreciere a însemnătății științei pentru practică, precum și în aceeași măsură a rolului practicii pentru dezvoltarea continuă a științei.

Rezultă de aici că legătura științei cu practica este o lege a dezvoltării științei. Ea contribuie la accelerarea și la aprofundarea cercetărilor teoretice, care se îmbogățesc permanent din experiența inepuizabilă a vieții, a producției.

•

Secolul al XX-lea este secolul marilor revoluții, care s-au săvârșit atât în sînul societății, cît și în știință și tehnică.

Primul pătrar al secolului al XX-lea a fost marcat prin mari descoperiri în domeniul bazelor fizicii, pe care Lenin le-a numit „o revoluție modernă în științele naturii”.

Marile descoperiri în domeniul fizicii de la începutul secolului al XX-lea au servit drept imbold pentru dezvoltarea fără precedent a științelor naturii.

Ritmul acestei dezvoltări se accelerează văzînd cu ochii.

Torentul neconținut al descoperirilor științifice generează o tehnică nouă, de o putere nemaivăzută, și creează mereu alte posibilități, deosebit de largi, pentru înfăptuirea unor noi revoluții tehnice.

Puterea tehnică a omului devine atât de mare, încît el ar putea face ca încă în acest secol toți oamenii de pe glob să atingă cea mai înaltă treaptă a bunăstării materiale și culturale.

Desăvîrșirea acestui măreț țel uman nu este împiedicată nicidecum de posibilitățile tehnice, de resursele de muncă și de fonduri, ci doar de faptul că în orînduirea capitalistă, rămîn energii, bogății naturale și posibilități științifice utilizate în alte scopuri decît acele ale adevăratului progres al omenirii.

În țara noastră, talentatul nostru popor desfășoară cu entuziasm, sub conducerea înțeleaptă a partidului, desăvîrșirea construcției socialiste.

Alături de întregul popor muncitor, oamenii de știință și de cultură își mobilizează energia și posibilitățile lor creatoare pentru a contribui la dezvoltarea economiei naționale și înflorirea culturii în patria noastră, pentru a ridica pe o treaptă și mai înaltă aportul științei la desăvîrșirea construcției socialiste.



# Plasma și aplicațiile ei

---

Acad. EUGEN BĂDĂRĂU







## CE ESTE PLASMA

Stările de agregare — solidă, lichidă și gazoasă — reprezintă desigur modurile cele mai răspândite în care se găsesc corpurile cu care venim frecvent în contact.

Se pune însă întrebarea: aceste trei stări de agregare reprezintă singurele stări în care există substanța în general? Nu se găsesc pe pământ corpuri care să fie într-o stare diferită? Mai mult, știind că planeta pe care trăim, Pământul, este o extrem de mică parte a universului, nu cumva materia răspândită în spațiul infinit al cosmosului se prezintă și sub alte stări de agregare? Și, dacă o astfel de stare există, care sînt proprietățile ei, care sînt legile conform cărora se desfășoară fenomenele ce o caracterizează?

Știința modernă dă răspuns acestor întrebări. Ea a pus în evidență existența unei stări a materiei care se deosebește fundamental de stările solidă, lichidă sau gazoasă. Această a patra stare de agregare se numește plasmă.

Deși destul de rar întâlnită pe Pământ, plasma reprezintă aproximativ 99,9% din univers, constituind deci starea cea mai generală în care se găsește materia.

Este interesant de menționat că, potrivit unor reprezentări ale materialismului antic spontan, naiv, privind elementele care stau la baza lumii, pe lângă alți presupuși constituenți fundamentali, ca spațiul, timpul, apa, pământul, figura și focul (flacăra), care nu este altceva decît o formă de plasmă.

Dar ce este plasma?

În 1921 fizicienii Langmuir și Tonks, studiind trecerea curențului electric prin gaze, și-au îndreptat atenția asupra unei formații luminoase care apărea între electrozii unei descărcări electrice la presiune redusă. O cercetare mai atentă i-a dus la concluzia că gazul în întregime sau parțial ionizat din tubul de descărcare, cu aspectul exterior al unei coloane luminoase, are o serie de proprietăți noi, foarte interesante. Ei au denumit „plasmă” această stare specială a gazului<sup>1</sup>.

În anii care au urmat, oamenii de știință au descoperit noi forme de plasmă, au identificat în natură existența materiei în această stare, au elaborat metode de producere și de cercetare a ei în laborator.

În ultimul timp însă, dintr-o problemă de importanță comună, studiul plasmei a devenit o problemă științifică și tehnică centrală, la cercetarea ei fiind angajată în prezent întreaga ingeniozitate experimentală și teoretică a fizicii și tehnicii moderne.

Care este cauza acestui uriaș interes?

---

<sup>1</sup> Această denumire a fost atribuită folosind o asociație cu termenul de plasmă din biologie. Deși această semnificație este depășită, termenul de plasmă se folosește în fizică în continuare.



Pentru a putea pătrunde în tainele celei de-a patra stări a materiei, este necesar să cunoaștem mai întâi cum se prezintă materia în general, care este structura ei, transpunându-ne astfel în lumea atomilor și a moleculelor.

Particulele constitutive ale materiei, cărămizile ei fundamentale, sînt atomii și moleculele. Astfel o picătură de apă conține cîteva mii de milioane de mili-

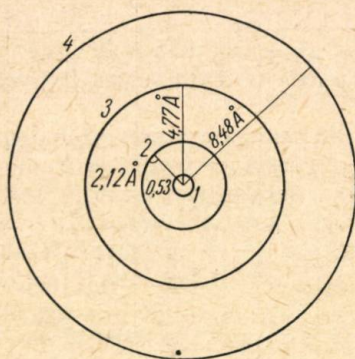


Fig. 1. Schema atomului de hidrogen.  
1 — orbita atomului neexcitat; 2, 3 și 4 — orbitele atomului excitat.

oane de milioane de atomi, adică o cifră urmată de 21 de zerouri, pe scurt  $10^{21}$ . Fiecare atom are un diametru de cîteva sutimi de milionimi de centimetru. Felul atomilor și modul în care ei sînt distribuiți în moleculă determină proprietățile unui anumit corp.

Timp îndelungat atomul a fost considerat o unitate indivizibilă, ultima și cea mai mică particulă care formează materia.

Secolul al XX-lea a marcat însă o adevărată revoluție în concepțiile oamenilor de știință despre atom.

La început a fost „spart” atomul, găsindu-se în interiorul acestei „cărămizi” fundamentale o lume a infinitului mic, în centrul căreia se află nucleul, iar în jurul lui se rotesc electronii, într-un spațiu care, ținînd cont de micimea electronului și păstrînd proporțiile, nu este mai puțin vast decît sistemul solar.

Construcția cea mai simplă o are atomul de hidrogen (fig. 1), format dintr-un nucleu în jurul căruia se rotește pe o anumită orbită (I) un electron. Distanța dintre nucleu și electron, în cazul atomului de hidrogen în stare normală, este de 53 de zecimi de miliardimi de centimetru, sau  $0,53 \text{ \AA}^1$ . Dacă, sub o formă oarecare, atomul primește energie, în anumite condiții electronul din atom sare pe o orbită mai depărtată de nucleu (II, III, IV) înmagazinînd o anumită cantitate de energie; atomul trece într-o stare specială, numită stare excitată. Cu cît energia captată este mai mare, cu atît electronul sare pe o orbită mai depărtată de nucleu și cu atît atomul este mai excitat.

Electronul însă nu rămîne aproape niciodată un timp prea îndelungat pe orbitele depărtate de nucleu, revenind, după un interval de timp de miliardimi

<sup>1</sup> Angström este o unitate de lungime egală cu a suta milioana parte dintr-un centimetru ( $1 \text{ \AA} = 10^{-8} \text{ cm}$ ).



de secundă, pe o orbită mai apropiată de nucleu și cedînd, sub formă de energie luminoasă, cantitatea de energie captată anterior.

În felul acesta iau naștere radiațiile vizibile (lumină) sau invizibile, care, așa cum s-a dovedit, sînt formate pentru aceeași culoare dintr-un număr foarte mare de particule identice: fotonii.

Cercetările efectuate în laboratoare au permis și pătrunderea în interiorul nucleului atomic, în această lume de infinită finețe, în care au fost descoperite peste 30 de noi particule.

Astfel a fost descoperit protonul, particulă încărcată pozitiv, a cărei sarcină electrică reprezintă sarcina elementară pozitivă, după cum sarcina electrică a electronului este sarcina elementară negativă. De asemenea a fost descoperit neutronul, o particulă fără sarcină electrică; mezonul, particulă cu masă intermediară; hiperonul, particulă mai grea decît protonul și neutronul; barionul, particulă grea din nucleul atomic etc.

Aceste cuceriri epocale ale fizicii contemporane confirmă în modul cel mai strălucit concepția materialist-dialectică despre lume, demonstrînd că materia este infinită în timp și în spațiu, atît în macrocosm, cît și în microcosm.

Să ne întoarcem la picătura de apă, s-o punem într-un recipient și s-o încălzim la o temperatură din ce în ce mai mare. După cum știm, la  $100^{\circ}\text{C}$  și în condiții obișnuite apa se transformă în vapori de apă. Mărind în continuare temperatura, agitația atomilor devine din ce în ce mai puternică și, la mii și zeci de mii de grade, încep să aibă loc frecvent ciocniri foarte energice între diverși atomi. Aceste ciocniri constituie adevărate microcatastrofe, ele putînd provoca smulgerea electronilor din învelișul atomului. Acest proces de pierdere de către atom a unui sau a mai multor electroni a căpătat denumirea de ionizare a gazului. Pentru că electronul este încărcat cu electricitate negativă, atomul care pierde electroni devine încărcat pozitiv și poartă numele de ion pozitiv. La temperaturi suficient de mari avem deci un gaz format din electroni, ioni și atomi, iar numărul acestora din urmă, datorită ionizării, poate să scadă pînă la dispariție dacă creștem suficient de mult temperatura.

Această stare a gazului ionizat în care numărul de sarcini electrice negative este aproximativ egal cu numărul de sarcini pozitive este tocmai *plasma*.

După cum am văzut, un mijloc de obținere a plasmă este încălzirea unui gaz la temperaturi la care agitația termică a atomilor provoacă ionizarea gazului.

În acest caz, în care toate procesele și fenomenele din plasmă sînt determinate de temperatură, care este comună pentru toate componentele gazului ionizat, avem o *plasmă izotermă*, adică o plasmă în care electronii, ionii și atomii neutri se găsesc în echilibru termodinamic. Deoarece agentul ionizator este căldura, ionizarea gazului este o ionizare termică. Pe această cale se obține ionizarea gazului în flăcări cu temperatură ridicată, în stele și, după cum vom vedea, într-o serie de alte cazuri.

Un alt mijloc de obținere a plasmă este ionizarea gazului în cîmp electric.

După cum se știe, gazele, în starea lor obișnuită, nu conduc electricitatea, fiind bune izolatoare. Totuși, datorită acțiunii unor factori externi permanenți, ca radiația cosmică, radioactivitatea Pămîntului (radioactivitatea radiului, toriului), există totdeauna în gaze un număr foarte mic de sarcini electrice



(electroni, ioni). Dacă în volumul ocupat de gaz se introduc doi conductori metalici (electrozi) între care se aplică o diferență de potențial suficient de mare, stabilindu-se astfel un câmp electric, electronii fiind încărcăți negativ încep să se miște spre electrodul pozitiv (anod), iar ionii pozitivi se deplasează spre electrodul negativ (catod). În drum spre anod, accelerați în câmpul electric, electronii se ciocnesc cu atomii gazului, provocând, la viteze suficient de mari, ruperea electronilor din atomul ciocnit.

În acest mod se realizează ionizarea în câmp electric prin electroni. Mult mai rar se produce ionizarea în câmp electric prin ciocniri cu ioni, din cauza vitezei mult mai mici pe care o au aceștia în câmp electric, datorită masei lor mult mai mari decât masa electronului. Accelerați în câmpuri electrice puternice, electronii capătă energii cinetice deosebit de mari. În acest caz avem o *plasmă neizotermă*, caracterizată prin faptul că, în timp ce electronii au energii corespunzătoare unor temperaturi de mai multe zeci de mii de grade, temperatura gazului neutru nu depășește câteva zeci de grade Celsius. Din aceste motive, această formă de plasmă se numește și *plasmă rece*.

Un exemplu de plasmă neizotermă îl constituie gazul ionizat în descărcările la presiune redusă.

Pe lângă agenții ionizatori ai gazelor de care am amintit, mai menționăm ionizarea atomilor prin acțiunea fotonilor (radiații X, radiații ultraviolete).

## PLASMA ÎN NATURĂ

În nopțile senine de vară, fiecare dintre noi a contemplat cu interes cerul plin de stele, fiind impresionat de imensitatea fără sfârșit a spațiului stelar.

Astăzi se știe că substanța, în toate părțile universului, este concentrată mai ales în stele și cea mai mare parte a stelelor sînt „organizate” sub forma grandioaselor sisteme galactice.

Calea Lactee, galaxia din care face parte și Pămîntul, are peste 100 de miliarde de stele. Astfel de galaxii sînt foarte multe, în prezent fiind descoperite aproximativ 500 000 000. Distanța la care au fost detectate corpuri astronomice a ajuns în prezent la asemenea valori, încît lumina emisă de ele pînă pe Pămînt face circa 60 de miliarde de ani, parcurgînd în fiecare secundă cîte 300 000 km.

Cu ajutorul metodelor spectrale s-a măsurat temperatura suprafeței stelelor: 4 000—6 000°C pentru stelele galbene și 15 000—20 000°C la stelele albastre. În interiorul stelelor, temperatura crește foarte mult, atingînd valori de zeci de milioane de grade. La această temperatură, gazul este complet ionizat, materia care constituie stelele găsindu-se în stare de plasmă izotermă. Din aceste motive se apreciază că 99,9% din materia din univers este în stare de plasmă.

Pămîntul este, din acest punct de vedere, una din excepții, fiind o planetă rece. Temperaturile întîlnite în mod obișnuit pe Pămînt sînt insuficiente pentru a întreține pe cale termică materia în stare de plasmă, ceea ce determină ca,



în condițiile naturale de pe planeta noastră, această stare de agregare a materiei să fie întâlnită foarte rar.

Existența gazului în stare de plasmă în condiții terestre o găsim în unele domenii mari ale ionosferei, care, după cum știm, este pătura din atmosferă care înconjură Pământul la înălțimi cuprinse între 80 și 900 km (și chiar mai mult).

Ionizarea aerului în această regiune se datorește radiației solare. Sondajele efectuate cu rachete și cu sateliți artificiali au adus o serie de rezultate extrem de importante privind procesele din ionosferă, care, datorită reflexiei undelor radio, joacă un rol foarte important în comunicațiile radio pe Pământ la mari distanțe.

De asemenea în stratele superioare ale atmosferei se întâlnește o formă de plasmă în fenomenele de auroră polară (fig. 2, 3 și 4).

După cum se știe, aurorele polare, considerate cele mai frumoase și mai mărețe fenomene cerești, constau în apariția în regiunile polare, la înălțimi cuprinse între 50 și 1 000 km, a unor formații luminoase sub forma unor perdele strălucitoare, colorate, într-o continuă agitație, care coboară maiestuos din înălțimile cerului.

Explicația formării aurorei polare este dată în legătură cu unele fenomene ce se produc în Soare, care, pe lângă lumină și căldură, emite și diferite particule foarte mici, electrizate. Aceste particule, apropiindu-se de Pământ, sînt deviate de cîmpul magnetic terestru spre polii magnetici și, pătrunzînd în stratele superioare ale atmosferei, ionizează și excită gazul aflat în stare rarefiată la aceste înălțimi.

Aducerea gazului în stare de plasmă în condiții naturale de scurtă durată mai are loc în binecunoscutul fenomen al fulgerului.

Se știe că, în general, norii formați deasupra Pământului se încarcă electric pozitiv către partea lor superioară, sub care se găsește o regiune încărcată negativ. Cînd două regiuni ale norului încărcate cu electricitate de semn opus se apropie la o anumită distanță, se produce fulgerul, care este o descărcare electrică de tipul descărcării sub formă de scînteie la presiunea atmosferică. De asemenea, sub formă de fulger are loc descărcarea între nori și Pământ. În cazul fulgerului, aerul este adus în stare de plasmă în regiunea din canalul descărcării, datorită ciocnirilor particulelor electrizate cu moleculele din aer, particulele fiind accelerate la o diferență de potențial de 100 000 000—150 000 000 V. Această diferență de potențial este de ordinul de mărime al celei care comunică energie, particulelor provenite din fisiunea uraniului într-o bombă de tipul celei lansate asupra Hiroșimei.

Transportul de sarcini electrice negative din atmosferă pe Pământ cu aducerea gazului în stare de plasmă poate avea loc și în descărcări pe pomi înalți, pe stîlpi ascuțiți, descărcări care sînt însoțite de o luminozitate a aerului. Astfel de descărcări se pot observa foarte des pe catargele vapoarelor care plutesc la latitudini mici și au fost numite „focurile sfîntului Elm”.

Pe lângă aceste forme de plasmă, în care ionizarea este efectuată în cîmp electric, pe Pământ plasma se mai întâlnește în diverse categorii de flăcări de temperatură înaltă, în care ionizarea gazului se face pe cale termică.





Fig. 2. Auroră polară în formă de arce paralele.





Fig. 3. Auroră polară în formă de panglică care se transformă într-o draperie.



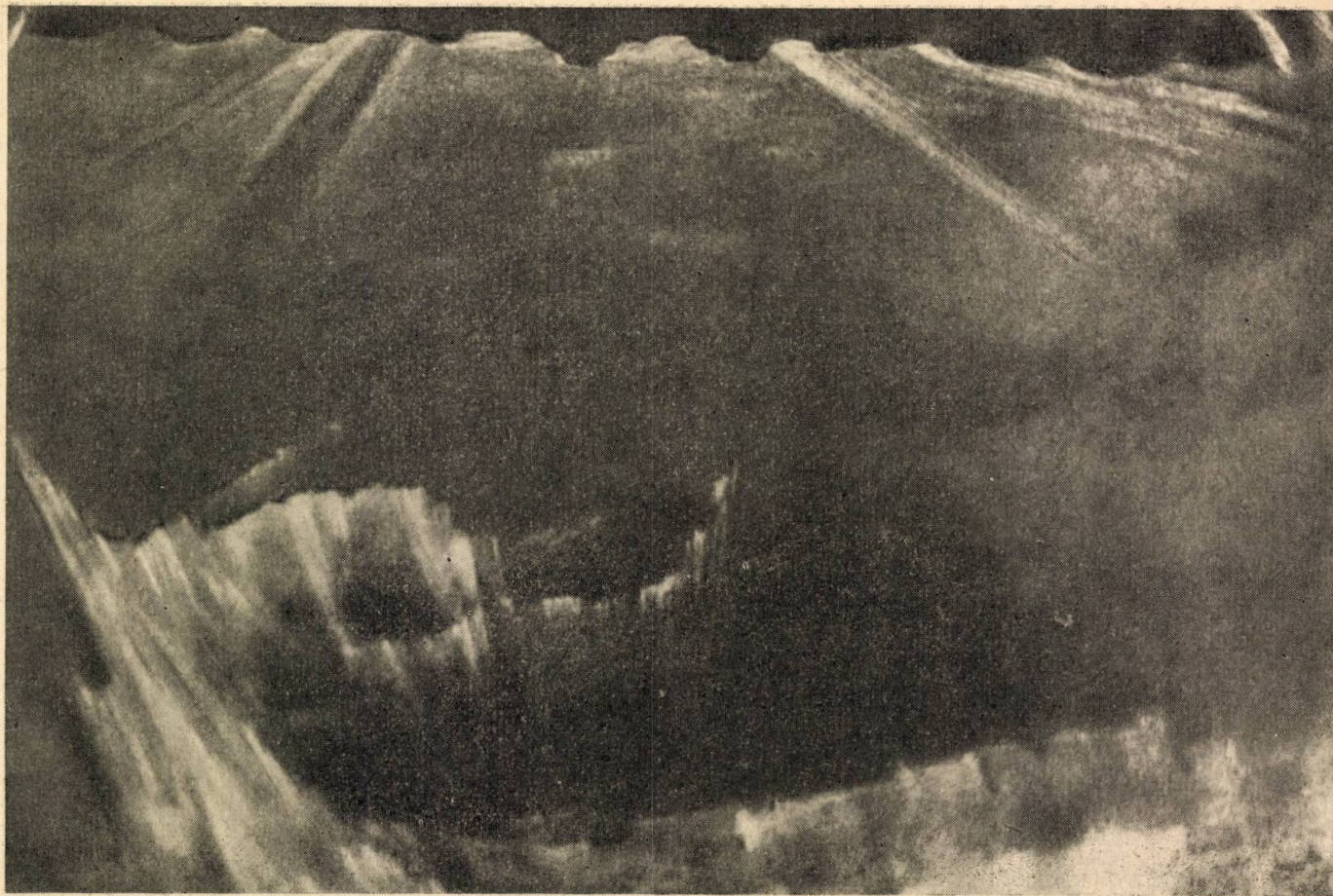


Fig. 4. Auroră polară în formă de draperie.



## PLASMA ÎN LABORATOR ȘI ÎN VIAȚA DE TOATE ZILELE

Cu toate că prezența plasmelor în condițiile naturale ale Pământului este foarte limitată, datorită eforturilor oamenilor de știință care au studiat această stare specială a materiei aproape că nu există în prezent nici un sector de activitate industrială, științifică, culturală, sportivă etc. în care, sub o formă sau alta, plasma să nu fie folosită pentru a ușura și înfrumuseța viața omului, pentru a-l ajuta să învingă natura și s-o transforme în folosul lui.

...Începe să se însereze. Activitatea marilor orașe continuă însă cu aceeași animație. Invităm pe cititor să facă împreună cu noi o plimbare pe străzile capitalei sau ale altor orașe. Atenția ne este atrasă, la un moment dat, de scelipirile numeroaselor corpuri de iluminat, care, după câteva pîlpîiri, devin uniform luminoase, împrăștiind în întunericul nopții o lumină puternică, albă, plăcută, care ne amintește de lumina Soarelui dispărut la orizont. Aceeași „lumină a zilei” o găsim în fabrici, instituții, în vitrinele și în interiorul magazinelor, al restaurantelor etc.

Atenția ne este de asemenea atrasă de numeroasele reclame luminoase și anunțuri, ale căror litere strălucitoare în diferite culori, pe lângă scopul de informare a publicului pe care-l realizează cu mult succes, contribuie la înfrumusețarea orașelor pe timpul nopții.

Să ne apropiem de o vitrină și să privim cu atenție una din lămpile care o luminează. Vom vedea că este formată dintr-un tub de sticlă închis la capete.

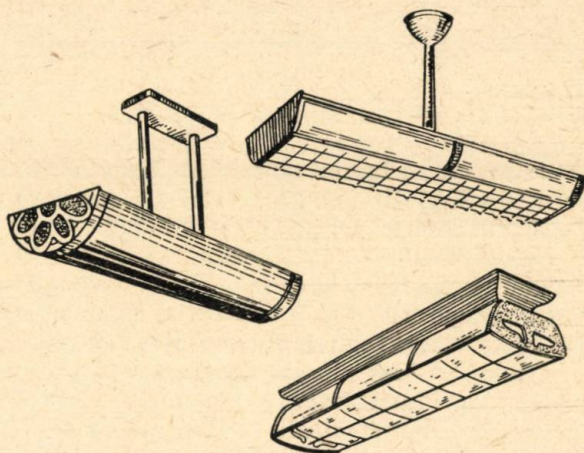


Fig. 5. Cîteva tipuri de tuburi fluorescente.

El emite pe toată lungimea lui o lumină uniformă, fără strălucire mare care să obosească ochiul. Acesta este un tub fluorescent (fig. 5). Cum emite el lumină?

În interiorul tubului, după ce aerul a fost evacuat, s-a introdus o picătură de mercur și un gaz inert, de exemplu argon, la presiune scăzută. La fiecare capăt este fixat în interior cîte un electrod, care poate fi un cilindru metalic



sau un filament. Cînd între acești electrozi se aplică o anumită diferență de potențial, în tub are loc o descărcare electrică, tubul devine luminescent.

În acest tip de descărcare, gazul se află în stare de plasmă, datorită ionizărilor produse de electroni în cîmpul electric dintre electrozi.

Prin ciocnire cu atomii gazului, electronii pot provoca, pe lângă ionizare, și excitarea gazului. În tuburile fluorescente, electronii excită atomii de mercur, care, revenind în stare normală, emit o lumină albastră-violetă, foarte bogată în radiații ultraviolete invizibile.

Pe partea interioară a tubului fluorescent se depune pe sticlă o substanță, numită luminofor, care are proprietatea de a emite lumină de diferite culori atunci cînd este iluminată cu radiații ultraviolete. O alegere convenabilă a luminoforilor asigură reproducerea luminii albe a zilei, imprimă luminii o nuanță roză, plăcută în iluminatul interioarelor etc.

Folosirea plamei la iluminat reprezintă o adevărată revoluție în tehnica surselor artificiale de lumină.

De-a lungul existenței sale, omul a simțit nevoia să-și lumineze în timpul nopții locul în care trăia, folosind în acest scop făclia, lumînarea, lampa cu gaz, becul electric modern, mijloace care reprezintă surse termice de lumină, deoarece lumina este emisă de corpuri fierbinți aduse la incandescență.

Aceste surse de lumină, inclusiv becul modern cu incandescență, prezintă o serie de mari dezavantaje. În primul rînd, lumina gălbuie emisă de ele nu este sănătoasă pentru om, al cărui ochi este adaptat pentru lumina albă a zilei. În al doilea rînd, cu toate progresele economice și de comoditate realizate de becul cu incandescență față de lampa cu gaz, de pildă, el rămîne un mijloc foarte neeconomic pentru iluminat. Astfel, în cele mai perfecționate becuri cu incandescență, numai 4—5% din întreaga energie emisă de filament se transformă în lumină. Într-un bec de 100 W se transformă în lumină doar 4—5 W, restul energiei transformîndu-se în căldură.

Progresele făcute în construcția tuburilor fluorescente au permis, pe lângă producerea unei lumini de calitate bună, realizarea unui randament mult mai bun: 10—20% din energia electrică consumată se transformă în energie luminoasă. De asemenea viața acestor lămpi este de 5 000—15 000 de ore, în timp ce viața becurilor cu incandescență este doar de 500—800 ore.

Tubul fluorescent descris, care folosește descărcări luminescente, este cel mai reprezentativ dintre sursele de lumină „rece”. O răspîndire din ce în ce mai mare o au și lămpile fluorescente globulare, care produc lumină pe aceeași cale, folosind însă plasma descărcării în arc, o formă de plasmă cu aplicații deosebit de importante.

Acest gen de descărcare are loc atunci cînd între doi electrozi suficient de apropiați se aplică o tensiune de cîteva zeci sau sute de volți, iar circuitul exterior permite să crească intensitatea curentului de descărcare la zeci, sute și chiar mii de amperi.

Cînd descărcarea în arc are loc la presiuni atmosferice sau chiar mai mari, datorită ciocnirilor foarte numeroase dintre electroni și atomi sau atomi și atomi, temperatura tuturor componentelor gazului crește, formîndu-se o plasmă izotermă în care se pot ușor realiza temperaturi de 5 000—10 000°C ale gazului.



Din această cauză plasma descărcărilor în arc se mai numește și plasmă „caldă”. Descărcarea în arc poate avea loc și la presiuni reduse, caz în care plasma încetează de a mai fi izotermă, trecînd într-o formă de plasmă cu caracter neizoterm. Încălzirea puternică a catodului arcului electric determină ieșirea din acesta a unui mare număr de electroni, datorită procesului numit emisiune termoelectronică. Există însă și descărcări în arc în care catodul nu se încălzește la temperaturi suficient de mari pentru ca emisiunea termoelectronică să aibă loc. În acest caz electronii sînt smulși din catod de un cîmp electric foarte mare ( $10^7$  V/cm), fenomen numit și emisiune la rece.

Acest arc electric este însă mai puțin important, tipul cel mai des întîlnit constituindu-l arcul termoelectronic.

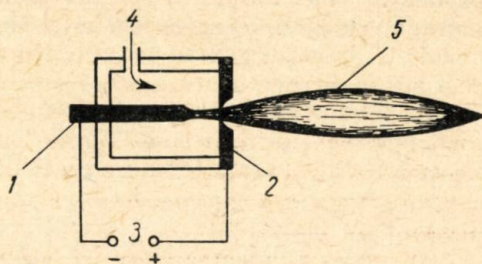
Un dispozitiv care folosește plasma descărcării în arc, utilizat în prezent din ce în ce mai mult în industrie și în laboratoare, este plasmatronul. În principiu în acest dispozitiv (fig. 6), descărcarea în arc are loc între cei doi electrozi 1 și 2 legați la o sursă de tensiune continuă 3. Prin orificiul 4 se introduce un gaz (de exemplu argon, heliu, hidrogen sau azot), care iese prin orificiul practicat în anod. Cînd între electrozi are loc descărcarea în arc, gazul introdus în mod continuu în camera de ardere se proiectează în exterior sub forma unui jet de plasmă 5, lung de aproximativ 5—10 cm, cu diametrul de 5—10 mm. Alimentarea plasmatronului se face cu o tensiune de 2—300 V, la un curent de 800—1 000 A.

Temperatura jetului de plasmă în canalul central atinge  $50\,000^\circ\text{C}$ .

Utilizările plasmatronului sînt foarte numeroase.

Astfel, el reprezintă ultima noutate în tehnica sudurii. Se știe că sudarea obișnuită a pieselor din aluminiu, magneziu, oțeluri inoxidabile și din alte câteva metale nu este posibilă folosind metodele obișnuite, deoarece suprafețele care urmează să fie sudate se acoperă cu un strat de compuși cu oxigenul sau azotul din aer. Acest inconvenient este înlăturat folosind plasmatronul cu gaz

Fig. 6. Schema plasmatronului.



inert și protejînd totodată suprafețele incandescente tot cu un curent de gaz inert.

Plasmatronul mai este folosit la tăierea prin topire a oțelurilor bogat aliate, a cuprului și a aluminiului, adică a unor materiale la care tăierea cu oxigen este imposibilă sau legată de mari dificultăți. Astfel, la o tensiune de 180 V, un



curent de 300 A, într-un oțel cu grosimea de 50 mm, s-a obținut o viteză de tăiere de 60 cm pe minut, lățimea tăieturii fiind de 8 mm.

Cu ajutorul jetului de plasmă se pot topi toate materialele cunoscute. Plasmatronul este folosit la perforarea termică a rocilor și a betonului, precum și la îndepărtarea depunerilor solide de pe fundul cuptoarelor metalurgice. Plasat în sistemul unor oglinzi, plasmatronul se folosește pentru topirea metalelor foarte pure în locul cuptoarelor solare.

Plasma poate fi utilizată și în procesele de metalizare. Astfel materialul se transmite în jetul de gaz sub formă de praf sau direct în plasmă sub formă de bară.

O aplicație foarte interesantă o are plasmatronul în tehnica încercării materialelor ce vor fi solicitate la viteze super- și hipersonice, a pieselor de la motoarele cu reacție sau de la navele cosmice. Se știe că una dintre cele mai dificile probleme care trebuie rezolvată cu ajutorul tunelelor hipersonice este aceea de a crea, pe lângă viteze mari ale curentului de aer (care depășesc de peste cinci ori viteza sunetului), și creșterea corespunzătoare a temperaturii produsă în timpul zborului rachetelor sau al sateliților artificiali în atmosferă. În acest scop plasmatronul este fixat într-un tunel supersonic, iar jetul de plasmă este proiectat în direcția în care se află piesa de încercat. Trecând printr-un ajutor special, jetul de plasmă este răcit după nevoie și transformat într-un jet de gaz, a cărui viteză poate fi mărită prin realizarea unei presiuni scăzute în tunel.

## ENERGIA ELECTRICĂ FOLOSEȘTE PLASMA

Dezvoltarea industriei și tehnicii actuale presupune existența unor surse de energie care să fie folosite pentru satisfacerea celor mai variate scopuri ale omenirii.

Etapa actuală a dezvoltării tehnice se caracterizează printr-o masivă folosire a energiei electrice și este de presupus că și în viitorul nu prea îndepărtat ea va fi forma de energie cea mai frecvent folosită, datorită unei serii de proprietăți importante pe care le are. Astfel energia electrică poate fi ușor transformată în energie mecanică, termică, luminoasă etc. Ea poate fi transportată comod și economic la distanțe mari, folosind conductorii metalici. Mai mult, ultimele cuceriri ale științei și tehnicii în domeniul frecvențelor ultraînalte și în radio-electronica cuantică fac posibil transportul unor puteri foarte mari pe calea undelor hertziene de frecvență foarte înaltă. Astfel, nu vor mai fi necesare liniile cu conductori, generatoarele cuantice asigurând emisiunea și dirijarea energiei în fascicule înguste la distanțe foarte mari, astronomice.

În prezent, rezerva de energie primară o constituie în cea mai mare parte combustibilul fosil: cărbunele și petrolul. În centralele termoelectrice, energia termică eliberată prin arderea combustibilului este folosită pentru încălzirea cazanelor cu aburi. Dăstinderea vaporilor fierbinți astfel obținuți într-o turbină



permite transformarea energiei cinetice a acestora în energie mecanică. Aceasta pune în mișcare un dinam care furnizează energie electrică.

După cum se vede în termocentralele clasice energia electrică se obține ca stadiu final al unui ciclu de transformări, fiecare etapă energetică intermediară realizându-se cu un anumit randament.

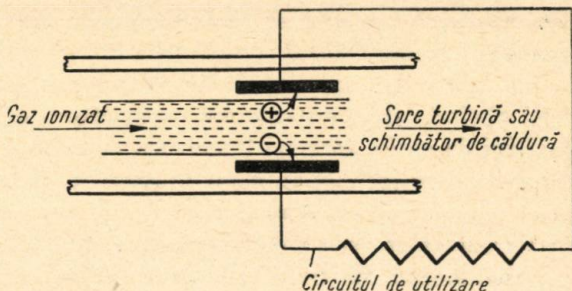
Astfel, în cele mai perfecționate termocentrale, care funcționează cu turbine cu aburi supraîncălziți, s-a reușit să se transforme în energie electrică numai 30—35% din energia termică consumată.

Știind că rezervele actuale de combustibil fosil ale planetei noastre sînt relativ limitate, se pune problema valorificării lor cît mai rațională, în sensul realizării unor randamente cît mai ridicate în procesele de obținere a energiei electrice.

Deoarece randamentul global scăzut în procesul clasic de transformare a căldurii în energie electrică este determinat și de faptul că se utilizează o succesiune de transformări, fiecare etapă necesitînd în plus și instalații speciale, în prezent se caută metode noi care să permită transformarea căldurii în energie electrică, excluzînd fazele intermediare.

Unul din procedeele cele mai recente elaborate în această direcție, bazat pe proprietățile gazului în stare de plasmă, realizează transformarea căldurii în energie electrică folosind generatorul „magnetohidrodinamic”. Principiul acestui transformator de energie este foarte simplu (fig. 7). Într-un tub este introdus un jet de plasmă obținută pe cale termică (de exemplu o flacără). În interiorul tubului sînt introduși doi electrozi conectați la circuitul de utilizare. Dispozitivul este situat între polii unui electromagnet puternic. Cînd particulele electrizate din plasmă — electronii și ionii pozitivi — intră în spațiul în care este aplicat cîmpul magnetic, traiectoria lor se curbează, fiind deviate și separate corespunzător semnului sarcinii lor, astfel încît la una din plăci vin numai

Fig. 7. Schema de principiu a generatorului magnetohidrodinamic.



sarcinile pozitive, iar la cealaltă numai sarcinile negative. Între plăcile din tub se creează astfel o diferență de potențial, care dă naștere, în circuitul exterior, unui curent electric.

Folosirea generatoarelor magnetohidrodinamice în cazul utilizării azotului amestecat cu 1% potasiu încălzit la 3 000°C a permis obținerea în circuit



deschis a unei diferențe de potențial de 60 V, iar în scurtcircuit a unui curent de 450 A pentru o suprafață a electrodului colector de 100 cm<sup>2</sup>.

Randamentele de transformare a căldurii în energie electrică realizate în dispozitivele de laborator se ridică la 50—60% și se prevede de pe acum o creștere pînă la 80%.

Pe lîngă elaborarea tipurilor industriale de generatoare magnetohidrodinamice, în prezent se studiază diverse combinații care să ridice și mai mult randamentul global al instalației. Astfel, la ieșirea gazului din tubul generatorului se pot monta pile termoelectrice, termogeneratoare cu turbine, celule semiconductoare etc. De asemenea generatorul magnetohidrodinamic poate fi montat în efuzorul unui motor cu reacție, constituind o sursă de energie, pe bordul navelor-rachetă și al avioanelor turboreactoare.

O altă direcție importantă de utilizare a plasmelor pentru transformarea directă a căldurii în energie electrică o constituie generatoarele termoelectronice.

În principiu, un astfel de dispozitiv este realizat sub forma unei diode, adică a unui tub în care se introduc doi electrozi. După ce aerul este evacuat, unul din electrozi se încălzește la o temperatură înaltă, la care începe să emită electroni. Aceștia se îndreaptă spre electrodul rece devenit colector, „condensîndu-se“, pe el și încărcîndu-l cu o mare cantitate de electricitate negativă, în timp ce electrodul cald, fiind lipsit de electroni, rămîne încărcat pozitiv. Avem deci o pilă electrică care transformă direct căldura în energie electrică.

Una din problemele de bază care trebuie rezolvată în cazul generatorului termoelectronic este următoarea: electronii emiși se adună în cantitate mare în fața electrodului cald, formînd așa-zisa sarcină spațială negativă, care împiedică ieșirea altor electroni. Pentru înlăturarea acestui efect nedorit, cea mai bună soluție propusă pînă în prezent este crearea de ioni pozitivi care să neutralizeze sarcina negativă a electronilor. Formarea ionilor pozitivi în fața electrodului cald se realizează prin introducerea vaporilor de cesiu în interiorul generatorului, cesiul în stare de vapori avînd proprietatea de a se ioniza în contact cu suprafețele metalice încălzite.

Se obține astfel un amestec de electroni emiși de electrodul cald, de ioni pozitivi de cesiu, formați în contact cu suprafața încălzită, și de atomi neutri de cesiu, care încă nu au venit în contact cu suprafața încălzită. În ansamblu, acest amestec de particule reprezintă o plasmă, de unde provine și denumirea de termoelement sau generator termoelectronic cu plasmă.

Randamentul de transformare a căldurii direct în energie electrică cu ajutorul acestor dispozitive cu plasmă este destul de ridicat (25—35%), depășind cu mult randamentul termocuplelor cu semiconductoare (10%).

Cercetările în această direcție fiind la început, sînt de așteptat îmbunătățiri esențiale ale randamentului. Astfel, cu unele procedee propuse care permit o mai energică neutralizare a sarcinii spațiale negative a electronilor, se așteaptă realizarea unui randament de peste 60%.



## REAȚII CHIMICE CU AJUTORUL PLASMEI

În ultimul timp, plasma a început să fie folosită din ce în ce mai mult pentru producerea unor reacții chimice.

După cum am văzut, trecerea curentului electric printr-un gaz determină apariția electronilor, a ionilor pozitivi și a atomilor sau moleculelor în stare excitată. În condițiile existente în plasmă se poate produce și ruperea unei molecule în fragmente neutre din punct de vedere electric, numite *radicali*, procesul purtând numele de disocierea gazului.

Acest variat ansamblu de particule încărcate electric și neutre care există în plasmă poate da naștere, prin procesul de sinteză, unor corpuri noi, prin reunirea într-un alt mod a fragmentelor de disociere.

Se știe că, pentru declanșarea multor reacții chimice, particulele care reacționează trebuie să aibă o anumită rezervă de energie, așa-numita energie de activare. De cele mai multe ori, energia de activare se cedează sub formă de energie termică, încălzind substanțele care reacționează. În acest caz, energiile puse în joc sînt limitate de posibilitățile de încălzire.

Este evident însă că particulele din plasmă dispun de energii incomparabil mai mari decît energiile pe care le au particulele în reacțiile chimice obișnuite. După cum am văzut, „temperaturi” de ordinul a  $50\,000^{\circ}\text{C}$  ale electronilor sînt foarte ușor de obținut în diferite tipuri de descărcări, iar în descărcarea în arc se pot realiza și temperaturi ale gazului de acest ordin de mărime.

Un fapt deosebit de important este legat de posibilitatea existenței în plasmă a unor particule de energii mari concentrate într-un volum foarte mic.

Reducerea zonei de reacție este hotărîtoare pentru producerea multor reacții care conduc la formarea unor produși nestabili ce se descompun dacă nu sînt izolați cît mai repede. Faptul că plasma unei descărcări poate fi întreținută în volume foarte reduse, iar în cazul plasmei izoterme temperatura gazului este normală, reprezintă mari avantaje față de posibilitățile oferite de metodele chimice obișnuite.

Este normal deci ca într-un gaz în stare de plasmă să se producă mult mai ușor și mai repede o serie întreagă de reacții chimice, să se obțină reacții și compuși chimici noi care nu se pot realiza pe căi chimice obișnuite. Astfel, hidrogenul ( $\text{H}_2$ ), oxigenul ( $\text{O}_2$ ), azotul ( $\text{N}_2$ ) etc., care în mod normal se prezintă sub formă de gaze moleculare, datorită proceselor de disociere din plasmă trec într-o stare activă, atomică ( $\text{H}$ ,  $\text{O}$ ,  $\text{N}$ ). De asemenea, în plasmă pot fi întîlnite molecule biatomice și combinații moleculare ale unor gaze monoatomice, considerate, după concepții mai vechi, absolut inerte prin natura lor, cum sînt molecula de heliu ( $\text{He}_2$ ), molecula de neon ( $\text{Ne}_2$ ) sau combinația moleculară heliu-mercur ( $\text{HeHg}$ ).

Din aceste motive, reacțiile chimice produse în plasmă au început să fie utilizate din ce în ce mai mult pe scară industrială pentru obținerea unor produse de mare importanță practică.

Printre reacțiile desfășurate pe această cale, un loc important îl ocupă transformarea gazului metan în acetilenă. După cum se știe, un produs de bază în



industria chimică este acetilena. Obținerea din gaz metan a acestui extrem de valoros compus este o problemă de mare importanță practică, în special pentru țările cu bogate resurse naturale de gaz metan printre care se numără și țara noastră.

Obținerea acetilenei se face trecând un curent de gaz metan prin zona de descărcare a unui arc electric. În plasma descărcării în arc, moleculele de metan ( $\text{CH}_4$ ) se disociază în radicali numiți metini ( $\text{CH}$ ), care, unindu-se doi câte doi, dau naștere moleculei de acetilenă ( $\text{HC}\equiv\text{CH}$ ). Acest proces se realizează pentru curenți de descărcare de aproximativ 850 A, la o tensiune de 8 400 V și la o viteză de trecere a gazului prin zona de descărcare de 1 000 m/s, ceea ce corespunde, pentru o anumită lungime a arcului, la un timp de o miime de secundă (durata de ședere a gazului în zona în care există plasma).

Astfel de instalații funcționează și în țara noastră la Rîșnov și Borzești.

Este interesant de arătat că, o dată cu obținerea acetilenei, în plasma descărcării în arc se mai pot produce și alte substanțe importante, cum sînt negrul de fum, acidul cianhidric, benzenul, naftalina etc.

Posibilitatea transformării chimice a metanului, cu ajutorul plasmei, în alte multe valoroase produse atrage foarte serios atenția în prezent asupra valorificării în mod cât mai rațional a acestei mari bogății din subsolul țării noastre.

Un alt procedeu foarte răspîndit care folosește plasma descărcării electrice este obținerea ozonului în descărcarea în aer și în oxigen.

Mai poate fi amintită folosirea plasmei descărcărilor pentru sinteza amoniacului din amestec de hidrogen și azot; a acidului cianhidric din amestec de amoniac și metan; a aldehydei formice (formol) din amestec de metan și aer; a ciclopentadinei (materie primă pentru fabricarea cauciucului sintetic) din metan etc.

Din aceste motive, în prezent se acordă o atenție din ce în ce mai mare studiului proceselor chimice care au loc în plasma descărcărilor electrice.

## PLASMA ȘI REACȚIILE TERMONUCLEARE

Folosirea combustibilului fosil ca sursă de energie primară într-un mod cât mai rațional, deși prezintă o deosebită importanță actuală, nu va putea asigura în viitor satisfacerea cerințelor energetice în continuă creștere ale omenirii. În plus, cea mai mare parte a cărbunelui, a țițeiului și a gazelor naturale vor fi folosite în viitor în cea mai mare parte ca materie primă pentru industria chimică, textilă, farmaceutică etc.

Utilizarea în acest scop a energiei căderilor de apă în hidrocentrale, încercările care se fac pentru folosirea energiei solare, a mareelor, a vînturilor etc., deși prezintă mare importanță practică, nu vor putea permite acoperirea consumului de energie necesar în viitor.



Secolul nostru a marcat intrarea omenirii într-o nouă eră, era atomică. Cercetările oamenilor de știință au făcut posibilă pătrunderea în interiorul nucleului atomic și, o dată cu aceasta, descoperirea imensei energii care se află acumulată în interiorul nucleului.

Pentru a ne da seama de diferența care există între cantitatea de energie eliberată în unele procese chimice și energia eliberată la o reacție nucleară, să urmărim următorul exemplu. La arderea hidrogenului cu formarea a 18 g de apă se degajă o cantitate de căldură egală cu 70 kcal, sau, folosind unitatea electronvoltul, rezultă 3,1 eV. În cazul unei reacții nucleare, de exemplu la reacția de formare a două nuclee de heliu dintr-un nucleu de litiu și un proton, se degajă o cantitate de energie de 17 250 000 eV. Rezultă că în cazul reacțiilor nucleare energia eliberată este de aproximativ 500 000 ori mai mare decât energia eliberată în cazul reacțiilor chimice cu degajare de căldură.

Pe linia folosirii acestei uriașe energii, urmează ca în viitor o sursă energetică principală a omenirii să devină combustibilul nuclear uraniul și toriul, prin spargerea în reactoarele atomice a nucleelor acestor elemente și folosind parțial enorma energie cuprinsă în ele. Însă pe lângă faptul că și rezervele acestor elemente pe planeta noastră sînt limitate, folosirea lor este legată de marele pericol pe care-l prezintă pentru viață reziduurile radioactive. Astfel, dacă s-ar urma această cale, în jurul anului 2 000 s-ar produce anual reziduuri radioactive echivalente cu 8 000 000 de explozii atomice mari!

De aceea oamenii de știință caută astăzi o altă sursă de energie care să reprezinte o soluție radicală a problemei energeticii viitorului.

Discutînd problema surselor de energie de pe Pămînt, în mod firesc se impune analiza acelei surse care revarsă mereu în spațiu o imensă cantitate de energie sub formă de lumină și căldură, din care o mică parte cade și pe planeta noastră.

Această sursă este Soarele. El emite într-o secundă o energie egală cu  $3,8 \cdot 10^{23}$  kW, iar această emisiune enormă de energie durează de milioane de ani.

De unde are Soarele atît de multă energie?

Și, dacă se reușește să se afle taina originii energiei solare, nu se va putea oare realiza și pe Pămînt un „soare“ artificial capabil să lumineze și să încălzească după voința omului?

La prima întrebare știința a dat răspunsul. Eliberarea energiei solare este consecința reacțiilor nucleare care au loc în Soare. Ca urmare a temperaturii colosale, nucleele atomilor de hidrogen care se găsesc în Soare se mișcă cu viteze foarte mari, ciocnindu-se între ei cu o forță uriașă, ceea ce creează posibilitatea sintezei nucleelor de heliu. În timp, această reacție, numită reacție de fuziune, se desfășoară în felul următor: într-un milion de ani, un nucleu de hidrogen este captat de un nucleu de carbon, care, după alți 200 000 de ani, mai captează un nucleu de hidrogen. După alte perioade de timp asemănătoare, același nucleu de carbon mai captează pe rînd încă două nuclee de hidrogen. În ultima etapă a acestui proces, numit sinteză hidrogenică, ia naștere nucleul de heliu, dezvoltîndu-se o cantitate enormă de energie. În acest proces, carbonul joacă rolul de catalizator, în stadiul final carbonul revenind în starea



de la început. Din cauza prezenței carbonului, procesul menționat este numit uneori „ciclul carbonului”<sup>1</sup>.

Energia eliberată de Soare la un moment dat este deci consecința producerii multiplexelor asemenea cicluri de sinteză.

Pentru a da răspunsul la a doua întrebare, oamenii de știință lucrează în prezent, iar rezultatele obținute deja conturează din ce în ce mai bine mult așteptatul răspuns.

În acest sens, rezolvarea problemei este urmărită pe linia folosirii plasmelor pentru producerea reacțiilor termionucleare. Combustibilul pentru obținerea acestei energii este izotopul greu al hidrogenului (deuteriul), care se găsește în cantități inepuizabile în apele oceanelor. Deuteriul mai este indicat și datorită faptului că, în urma „arderii” lui în reactoarele nucleare, cantitatea de produse radioactive reprezentând reziduurile este minimă.

Pentru a vedea cum poate fi utilizată plasma de deuteriu în acest scop, să facem următoarea experiență cu o cantitate de deuteriu închis într-un recipient.

Înainte de toate trebuie să subliniem faptul că la temperaturi și presiuni obișnuite, moleculele de deuteriu se vor mișca în vasul de experiență în mod neregulat, cu o viteză medie de aproximativ 5 000 km/h, posedând o energie cinetică medie de 0,025 eV. Energia aceasta este cu totul insuficientă pentru a produce reacția de fuziune. Ridicând temperatura la 5 000°C, molecula de gaz se disociază în atomi, iar presiunea crește pînă la aproximativ 50 atm.

Continuăm ridicarea temperaturii. Acum experiența a devenit imaginară, pentru că materialele cunoscute pînă în prezent nu suportă temperaturi atât de ridicate. La temperatura de 100 000°C, atomii de deuteriu se scindează în nuclee (deuteroni) și în electroni. Din acest moment, gazul cu care efectuăm experiența a trecut în stare de plasmă.

Duteronii se mișcă în aceste condiții cu o viteză medie ce corespunde unei energii de aproximativ 2,5 eV, energie relativ mare, ceea ce arată că în volumul recipientului există un număr de deuteroni care posedă o energie suficientă pentru a produce o reacție de fuziune. Acești deuteroni energici sînt însă atît de puțini, încît într-un volum de 1l, în care s-ar găsi plasmă în condițiile menționate mai înainte, s-ar produce o singură fuziune în decurs de cinci secole. Deci temperatura de 100 000°C este încă prea mică.

Ridicînd mai departe temperatura pînă la 100 000 000°C, energia medie a deuterionilor devine acum de ordinul sutelor de electronvolți. Deuteronii se ciocnesc acum mult mai des, eliberînd aproximativ 100 000 000 kW la 1l de gaz. Abia la temperatura de 350 000 000°C reacția se autoîntreține și pune în același timp la dispoziție în mod gratuit acea energie enormă, nelimitată care este cuprinsă în nucleele de deuteriu. Astfel, de exemplu, arderea cantității infime de deuteriu care se găsește într-un litru de apă este echivalentă cu arderea a 350 l de benzină. Apele oceanelor conțin destul deuteriu pentru a alimenta omenirea cu combustibil pentru mii de milioane de ani.

Iată deci că a fost găsită imensa, inepuizabila sursă de energie a viitorului!

<sup>1</sup> De fapt aici este prezentat în mod cu totul rezumativ ciclul carbon-azot, despre care se vorbește în lucrarea de față, în capitolul consacrat genezei elementelor chimice.



## SOARELE ÎN LABORATOR

Se pune întrebarea: experiența imaginară descrisă este realizabilă? Nu cumva raționamentul făcut este prea simplificat, prea abstract, o pură speculație?

Într-adevăr, realizarea practică a unui astfel de proces ridică de la început o serie de probleme în fața cărora mijloacele tehnice obișnuite sînt în întregime neputincioase.

Care sînt în prezent greutățile în problema reacțiilor termonucleare? Poate nu avem energia necesară pentru a aduce plasma pînă la uriașa temperatură „de aprindere” de 350 000 000°C? Un calcul simplu arată că aceasta este cu puțință. Astfel, un litru de gaz de deuteriu aflat la temperatura camerei la o densitate de 10 000 de ori mai mică decît cea atmosferică necesită pentru încălzirea lui la 350 000 000°C numai 18 000 de calorii, adică tot cam atîta energie cîtă trebuie pentru încălzirea unei cești de cafea. Dificultatea constă însă în altceva, și anume în presiunea de cîteva milioane de atmosfere pe care o are gazul la temperatura de lucru.

De aici problema-cheie: în ce vas să punem plasma pentru a putea rezista la asemenea presiuni. Chiar dacă ar exista un material cu o rezistență mecanică atît de uriașă, problema tot nu ar fi rezolvată, deoarece plasma fierbinte în contact cu peretele s-ar răci brusc, datorită frînării nucleelor și electronilor.

Și, totuși, soluția a fost găsită într-o formă simplă, dar foarte ingenioasă: un cîmp magnetic, care să joace rolul de izolator termic al plasmiei.

În mod obișnuit, particulele încărcate din plasmă se mișcă haotic. În prezența cîmpului magnetic, mișcarea lor se schimbă, urmînd traiectorii în formă de mici spirale. Cîmpul magnetic, acest „perete invizibil”, deviază particulele încărcate electric în așa fel, încît ele nu mai pot atinge pereții vasului.

...Aprilie 1956. La centrul atomic britanic de la Harwell este o deosebită animație, caracteristică evenimentelor de mare importanță.

În timpul vizitei conducătorilor Uniunii Sovietice, savantul sovietic I.V. Kurceatov dezvăluie în fața unui grup de oameni de știință celebra sa experiență, intrată în istorie.

În laborator a fost „aprins un soare”! Milionul de grade a fost atins, marcînd un triumf al geniului uman, o victorie de importanță excepțională a științei și tehnicii.

Prin ce metodă și cu ce dispozitive s-a reușit obținerea în laborator a acestor enorme temperaturi?

Instalația foarte complexă în realitate, dar extrem de simplă în principiu, are ca parte centrală un tub de descărcare în care s-a introdus un amestec de deuteriu și tritium (al doilea izotop al hidrogenului) la presiune scăzută.

În niște condensatori electrici de mare capacitate se acumulează energie electrică. La un moment dat, aceasta este lăsată să treacă prin tubul de descărcare într-o fracțiune de secundă. Curentul de descărcare atinge o intensitate de 2 000 000 A, avînd o creștere care atinge cîteva miliarde de amperi pe secundă. Ce se întîmplă cu gazul prin care trece o asemenea descărcare?



La începutul descărcării se produce o descărcare obișnuită, cu care sîntem familiarizați de la reclamele luminoase. Curentul electric care trece prin tubul de descărcare produce un cîmp magnetic care acționează asupra electronilor și ionilor din plasmă, adunîndu-i spre centru. În felul acesta se realizează capcana magnetică după ideea prezentată mai înainte. Creșterea mai departe a curentului de descărcare mărește din ce în ce mai mult temperatura gazului și cîmpul magnetic, iar acesta strînge tot mai mult gazul spre centrul tubului pînă cînd devine un fir foarte subțire și extrem de luminos. Cînd curentul de descărcare trece prin valoarea maximă, temperatura plasmei atinge cîteva milioane de grade.

După cum se știe, reacția termonucleară a fost realizată, cu mult înainte de experiența lui Kurceatov, în bomba cu hidrogen.

Față de reacția termonucleară din bombă, reacția termonucleară care se va realiza pe calea propusă de Kurceatov este fundamental deosebită. În bomba cu hidrogen, temperatura de declanșare a reacției în amestecul de deuteriu și tritiu este realizată cu ajutorul unei bombe atomice obișnuite. Explozia bombei atomice produce temperatura necesară declanșării reacției și astfel se pune în libertate enorma energie de sinteză a heliului. Urmează o explozie deosebit de puternică.

Folosirea pașnică a energiei produse de reacția termonucleară nu poate fi făcută, în general, prin explozii. Chiar în cazul în care o explozie este făcută în scopuri pașnice, constructive, de exemplu schimbarea unui curs de apă,

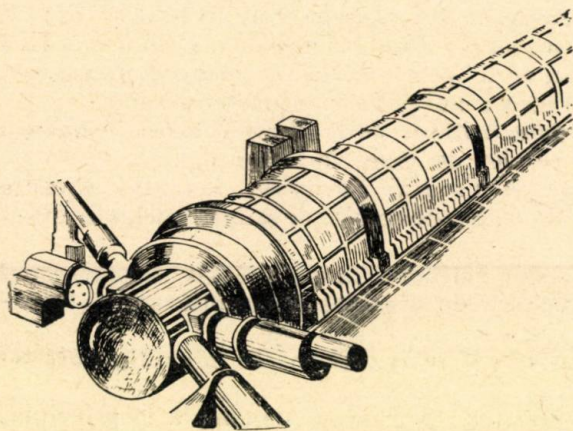


Fig. 8. Vedere parțială a instalației Ogra.

înlăturarea unui munte etc., prezența unei bombe atomice obișnuite face imposibilă realizarea unor explozii mici.

Pentru a stăpîni reacția termonucleară, făcînd-o aplicabilă în scopuri pașnice, este necesară realizarea controlului desfășurării ei, adică realizarea reacției termonucleare controlate sau dirijate.



Pe linia producerii marilor temperaturi folosind plasma fierbinte în scopul obținerii reacțiilor nucleare controlate, se lucrează la instalații foarte complicate, cum sînt instalațiile sovietice „Alfa“, „Tokomak“ și „Ogra“ (fig. 8), în S.U.A. instalația „Stellarator“, în Anglia instalația „Zeta“.

Cu ajutorul lor, pentru fracțiuni de secundă au fost realizate temperaturi de peste 5 000 000°C.

Greutățile întîmpinate în prezent de oamenii de știință sînt legate de problema stabilizării plasmăi. Experiențele arată că plasma se contractă spre axa tubului, datorită cîmpului magnetic, pînă la un moment dat cînd începe să devină nestabilă, tinzînd să străbată pereții „vasului“ magnetic. În plus, perturbările coloanei de plasmă determină perturbări ale cîmpului magnetic, care, la rîndul său, creează condiții de nestabilitate.

Lucrările (numeroase) care se desfășoară în prezent în această direcție, precum și rezultatele deja obținute, arată că, într-un viitor nu prea îndepărtat, și aceste aspecte ale problemei vor fi rezolvate, astfel încît, pe baza folosirii plasmăi fierbinți, se vor putea efectua reacții termonucleare dirijate.

Această realizare de proporții grandioase va determina intrarea omenirii într-o nouă epocă, epoca marilor energii, care vor permite, pe lîngă satisfacerea în întregime a necesităților energetice ale industriei, agriculturii, vieții de toate zilele, și rezolvarea unor probleme de mari proporții, cum este, de exemplu, dirijarea climei prin reglarea temperaturii și a ploii, preschimbînd întregul Pămînt într-o grădină înfloritoare.







Reacții nucleare.  
Rolul lor în știința și tehnica  
modernă

---

N. MARTALOGU

șef de laborator Institutul de fizică atomică







În căutarea metodelor prin care să schimbe metalele obișnuite în aur, secole de-a rândul alchimiștii au încercat în zadar să transforme un element în altul. Natura, fără ca ei să știe, transformă multe din elementele mai grele în altele, dar nu în aur. Substanțele radioactive naturale emiteau particule  $\alpha$ ,  $\beta$  și treceau în alte elemente.

În ultimii 50 de ani, visul alchimiștilor a devenit o realitate pentru oamenii de știință; ei au reușit, cu ajutorul mașinilor „spărgătoare” de atomi, să schimbe un element în altul, realizând *transmutarea elementelor*. Au reușit să transforme o substanță în aur. Dar aurul produs pe această cale în momentul de față este mult mai scump decât cel extras din subsol, căci materia primă de la care se pleacă, platina, este mai scumpă decât el.

Iată visul realizat de oamenii de știință; ei pot produce acum elemente noi, din care unele nici nu se găsesc în natură (tehnețiu, promețiu, astatiniu, franciu, transuranienele).

Sfărâmînd atomii, oamenii de știință au reușit să înțeleagă structura nucleelor atomice și să obțină unele informații cu privire la structura nucleonilor (neutroni sau protoni), considerați ca pietre de temelie ale nucleelor și ca „particule elementare”. Esența ideilor actuale cu privire la nucleoni constă în aceea că ei nu mai pot fi considerați particule elementare, ci ca niște sisteme mai mult sau mai puțin complicate.

Înțelegerea mai adîncă a structurii nucleului ne-a condus la surse noi de energie, precum sînt cea nucleară și termonucleară (prin descoperirea *fisiunii* și, respectiv, a *fuziunii* nucleare).

În 1896 Henri Becquerel, studiînd luminescența provocată de radiațiile X, a descoperit *radioactivitatea naturală* a mineralelor conținînd uraniu.

În iulie 1898 Pierre Curie și Maria Sklodowska-Curie au descoperit poloniul, iar în decembrie 1898 radiul.

Radiațiile corpusculare sau electromagnetice emise de aceste radioelemente au fost studiate cu diferite metode, în care erau folosite mai ales cîmpuri magnetice create de electromagneți. S-au descoperit astfel particulele  $\alpha$  și  $\beta$ , precum și radiația  $\gamma$  (fig. 1).

În 1919, studiînd distanța maximă pe care o pot parcurge particulele  $\alpha$  prin diferite gaze, Rutherford a observat că în azot pur, particulele  $\alpha$  au un parcurs neobișnuit de lung:  $\approx 40$  cm. Acest lucru era surprinzător, deoarece parcursul lor în aer, care, după cum știm, conține 77% azot, era de numai 7 cm. La început s-a crezut că particulele  $\alpha$  lovesc moleculele de azot și le aruncă la o distanță de 40 cm; experiențe ulterioare au arătat însă că această presupunere nu este valabilă, ajungîndu-se la concluzia că prin ciocnire particulele  $\alpha$  scot particule



mai mici din nucleele de azot. Particulele mai mici pot trece mai ușor prin azot, ciocnesc mai rar atomii de azot și parcurg distanțe mai mari prin gaz înainte de a-și pierde energia lor de mișcare. S-a presupus că aceste particule mai mici ar fi protoni. Lucrul acesta s-a verificat ulterior din curbura traiectoriei acestor particule în câmp magnetic. Protonii au putut fi scoși și din alte

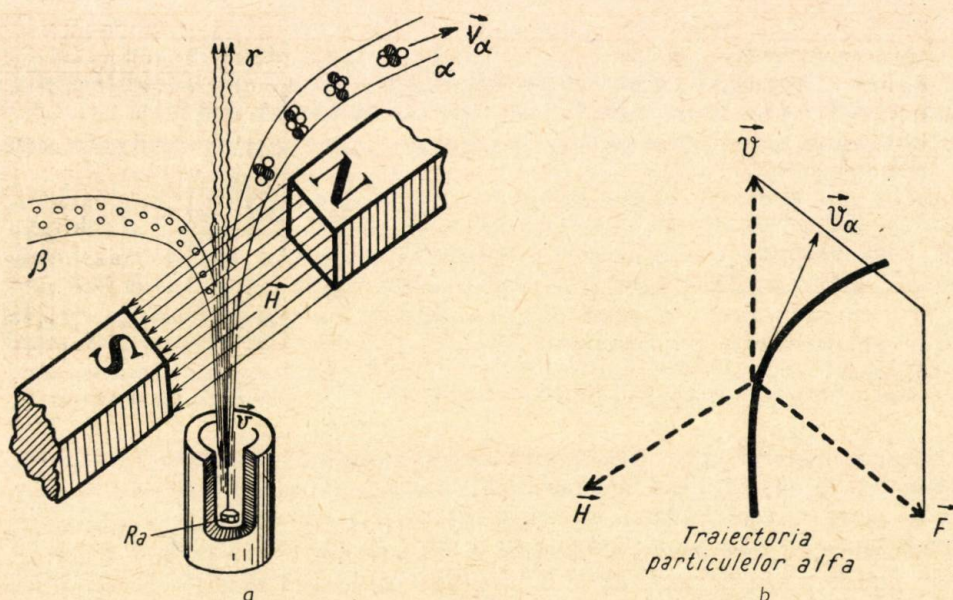
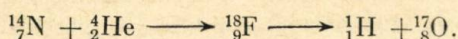


Fig. 1. Radițiile radioactive în prezența unui câmp magnetic perpendicular pe direcția lor de mișcare.

elemente mai ușoare (borul). Se părea că se verifică ipoteza că protonul este constituentul fundamental al materiei, cărămida de bază în construcția materiei, că el se găsește în oricare nucleu.

Cu ajutorul camerei Wilson (fig. 2) s-a arătat că nucleul de azot captează particula  $\alpha$  și emite ulterior un proton (fig. 3).

Aceasta a fost prima *reacție nucleară* pusă în evidență. Nucleul de azot, constituit din 7 protoni și 7 neutroni (deci din 14 nucleoni), captând particula  $\alpha$ , compusă din 2 protoni și 2 neutroni, formează un nucleu nou, constituit din 18 nucleoni, care se descompune într-un timp scurt, emițind un proton; rămâne un nou nucleu, nucleul de oxigen, cu 17 nucleoni, format din 8 protoni și 9 neutroni. Deci, în urma bombardării cu particule  $\alpha$ , azotul a fost transformat în oxigen stabil și protoni. O astfel de transmutare pentru un nucleu de azot se scrie:





Literele mari reprezintă simbolul chimic al elementului, indicele din stînga jos numărul de protoni, iar cel din stînga sus numărul de nucleoni (neutroni + + protoni), care se mai numește și număr de masă.

Se observă că se păstrează numărul total de nucleoni din partea stîngă și în partea dreaptă a ecuației reacției. De asemenea se păstrează și sarcina totală.

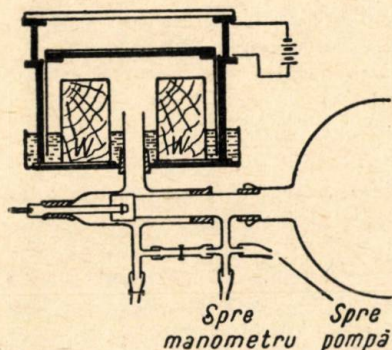


Fig. 2. Schema primei camere Wilson.

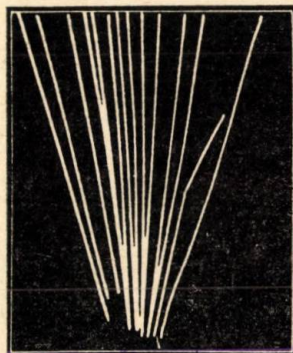
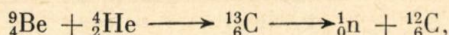


Fig. 3. Fotografia urmei protonului rezultat din reacția  ${}^{14}_7\text{N} + \alpha = p + {}^{17}_8\text{O}$ .

În 1930 Bothe și Becker au bombardat o țintă de beriliu cu particule  $\alpha$  și au constatat apariția unei radiații foarte penetrante, care nu era însă formată din protoni. Acest fapt a făcut să se creadă că această radiație penetrantă ar consta din radiații  $\gamma$  de mare energie.

F. Joliot-Curie constată că această radiație penetrantă poate scoate dintr-un bloc de parafină protoni. Măsurîndu-se energia acestor protoni, s-a putut deduce energia particulelor noi, energie care însă nu corespundea cu energia determinată direct din reacția nucleară care trebuia să producă radiații  $\gamma$ .

În 1932 Chadwick a arătat că trebuie considerat că nucleul de beriliu emite nu radiații  $\gamma$ , ci particule neutre avînd numărul de masă 1. Noua particulă a fost numită neutron și rezultă din reacția nucleară



adică un nucleu de beriliu, format din 9 nucleoni (4 protoni și 5 neutroni), captează o particulă  $\alpha$ , formînd un nucleu instabil de  ${}^{13}_6\text{C}$ , care după scurt timp se descompune într-un nucleu stabil de  ${}^{12}_6\text{C}$  și o particulă neutră avînd numărul de masă 1, neutronul.

Reacția aceasta este și astăzi utilizată ca sursă de neutroni. Pentru bombardare se folosesc particule  $\alpha$ , emise fie de radium sau de un descendent al acestuia, radonul (Rn), fie de poloniu, și atunci avem o sursă de neutroni radium-beriliu, radon-beriliu sau poloniu-beriliu. Se pot produce pe această cale zeci de milioane



de neutroni pe secundă<sup>1</sup>. Aceste noi particule, fără sarcină electrică, nu ionizează și deci nu pot fi detectate decât indirect cu instrumente obișnuite. Ele pot pătrunde ușor prin nuclee, producând transmutări.

Radiația neutronică este foarte periculoasă, căci distruge țesuturile; grafitul, parafina cu bor sau materialele plastice constituie ecrane excelente împotriva lor.

În ciocnirea cu protonii din aceste ecrane, neutronii pierd o mare parte din energia lor cinetică până la încetinire, când sînt captați, devenind inofensivi.

Descoperirea făcută în 1919 a creat posibilități nebănuite anterior în transmutarea elementelor. Folosirea numai a particulelor  $\alpha$  în acest scop ar fi limitat mult aceste posibilități. Oamenii de știință au încercat să realizeze transmutări și cu alte particule. Pentru aceasta trebuiau produse controlabil fascicule intense de particule avînd energii mari. În acest scop s-au folosit experiențe care arată că o particulă încărcată electric introdusă într-un cîmp electric creat de o diferență de potențial capătă o viteză din ce în ce mai mare. Deci trebuiau folosite aparate care să producă tensiuni mari. S-au utilizat transformatoare de înaltă tensiune, dar izolatorii din instalații limitau valoarea maximă a acesteia la ordinul sutelor de kilovolți. Protonii accelerați la  $\sim 125$  kV în instalația realizată de Cockroft și Walton în 1932 marchează începutul unei ere noi, aceea a particulelor artificiale accelerate în cîmpuri electrice mari. În adevăr, energia destul de mică dobîndită de protonii accelerați în această instalație a permis totuși obținerea unui nucleu cu număr de masă 8 în urma bombardării litiului 7. Nucleul de masă 8, instabil, se desface în două particule  $\alpha$ .

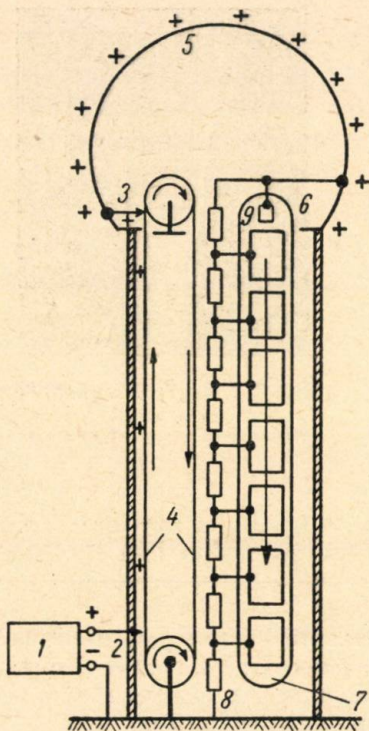


Fig. 4. Schemă de acceleratoare direct, cu generator de înaltă tensiune de tip Van de Graaff.

În 1931 Van de Graaff realizează un generator electrostatic capabil să producă o tensiune constantă de mai multe milioane de volți.

În fond, acest generator (fig. 4) este o mașină electrostatică care produce tensiune înaltă, transportînd pe o bandă izolantă (4) sarcini pozitive, luate de la un generator de curent continuu (1), împrăștiate pe bandă și colectate de pe aceasta prin virfuri ascuțite (2-3).

Aceste sarcini sînt transmise unei sfere metalice mari (5); acțiunea aceasta continuă pînă ce sfera este încărcată la o înaltă tensiune. Sfera este izolată

<sup>1</sup> O sursă radiu-beriliu de 1 g emite aproximativ  $10^7$  neutroni pe secundă.



foarte bine față de Pământ și de restul aparaturii. Particulele sînt accelerate într-un tub de accelerare (6) prin aplicarea directă a înaltei tensiuni produsă de generatorul electrostatic.

Tubul de accelerare cuprinde sursa de ioni (9), adică camera în care este introdus gazul și se face ionizarea. Gazul ionizat este extras printr-o deschidere

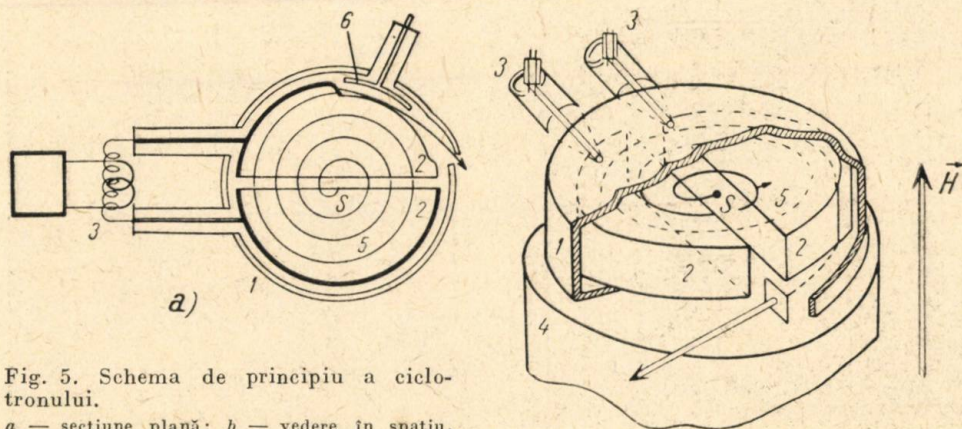


Fig. 5. Schema de principiu a ciclotronului.

a — secțiune plană; b — vedere în spațiu.

mică și intră în tubul de accelerare propriu-zis (6), unde este accelerat la milioane de volți. A treia parte componentă a tubului de accelerare este ținta (7) bombardată de aceste particule accelerate. Ea poate fi gazoasă sau solidă, natura și starea ei de agregare diferind după necesitățile experimentale.

Cu acceleratorul electrostatic putem accelera protoni, particule  $\alpha$ , deuteroni, care nu sînt respectiv altceva decît nuclee de hidrogen ușor, de heliu sau de hidrogen greu. Energia particulelor bombardante este exprimată în electron-volți (eV)<sup>1</sup>, kiloelectronvolți (1 keV = 1 000 eV) sau megaelectronvolți (1 MeV =  $10^6$  eV).

Energia generatoarelor Van de Graaff era limitată pînă recent la aproximativ 8 MeV. În varianta modernă, aparatul este închis într-o cupolă cu gaz uscat [freon sau amestec de CO<sub>2</sub> (12%) + N<sub>2</sub> (88%)] la presiune ridicată (12—20 atm). Apariția Van de Graaff-ului tandem a permis ridicarea tensiunii pînă la 16—30 MV.

În 1931 Lawrence și Levingston au inventat un nou tip de accelerator de particule, numit *ciclotron*.

În figura 5 se vede schema principală a ciclotronului, iar în figura 6 este dată fotografia ciclotronului de 120 cm diametru. Camera de accelerare (1) este formată dintr-o cutie goală din metal nemagnetic, în care sînt introduși doi „duanți”<sup>2</sup> (2), semicilindrici distanțați unul de celălalt. Pe ei se aplică o ten-

<sup>1</sup> Un electronvolt este energia cinetică căpătată de un electron după ce a străbătut o diferență de potențial de 1 V. Ea este echivalentă cu  $1,6 \cdot 10^{-12}$  erg.

<sup>2</sup> Prin „duanți”, sau „diuri”, se înțeleg cei doi electrozi în formă de „D” ai ciclotronului; pe aceștia se aplică înalta tensiune de înaltă frecvență.



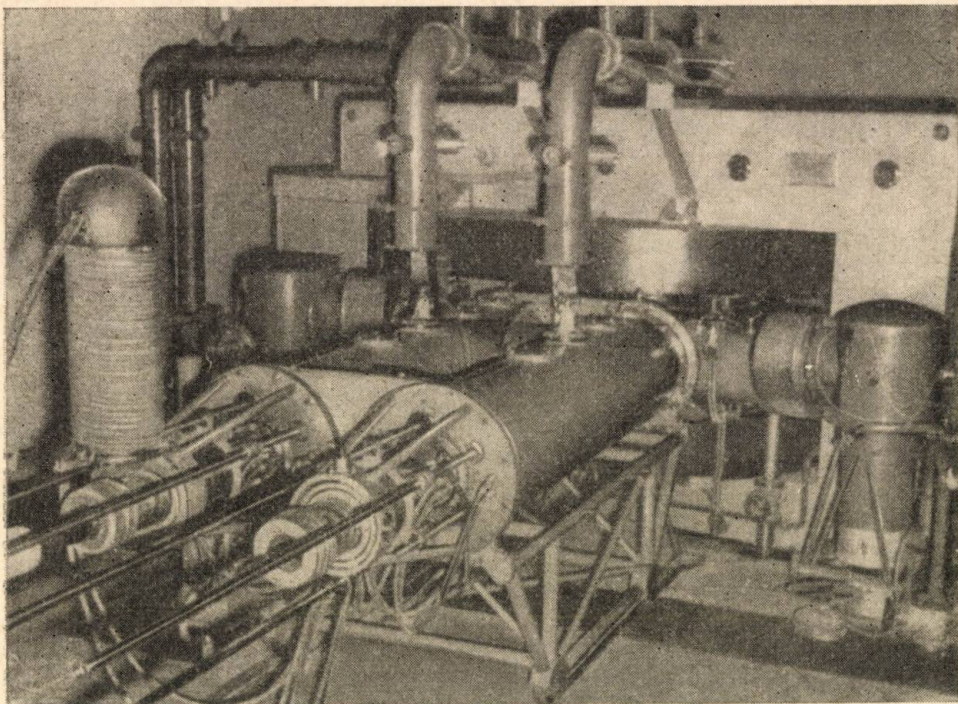


Fig. 6. Ciclotronul de 120 cm diametru.

siune ridicată de înaltă frecvență (3). La ciclotronul Institutului de fizică atomică din București, tensiunea este de  $\approx 50-65$  kV față de masă și frecvența între 8,8 și 16 MHz.

Întreg sistemul este legat la o instalație de vid care scade presiunea pînă la  $1,2 \cdot 10^{-5}$  mm Hg cînd în camera de accelerare există fascicul (adică gaz ionizat).

În centrul camerei se află sursa (S) în care se introduce gazul din care provin ionii ce trebuie accelerați (atomi de hidrogen o dată ionizați, molecule de heliu de două ori ionizate, deuteroni etc.). Camera ciclotronului este așezată între polii unui puternic electromagnet (4), al cărui cîmp magnetic (0–16 kGs) străbate camera perpendicular.

Cîmpul magnetic este uniform cu o cădere de  $\approx 2\%$  la margine. Particulele încărcate produse în S, aproape de centrul cîmpului polilor magnetici, sînt accelerate în spațiul dintre duanți, traiectoria lor este curbată de cîmpul magnetic și apoi sînt din nou accelerate între duanți. Trecînd de 100 de ori între duanți, între care este aplicată o tensiune de  $\approx 50\,000$  V, energia particulelor pe orbita finală este de 5 000 000 eV. Particulele urmează un drum spiral (5) cu o rază din ce în ce mai mare. Pe traiectoria finală, care depinde



de mărimea cîmpului magnetic și a duanților, se află un electrod de deflectare (6), pe care se aplică o tensiune electrostatică de zeci de kilovolți; acest electrod scoate din ciclotron particulele accelerate. În continuare, particulele urmează o traiectorie rectilinie printr-un tub de oțel vidat. Fasciculul de particule este focalizat și trimis în camera de experiențe. Energia pe care o pot primi protonii și alte particule pozitive încărcate în ciclotron ajunge pînă la maximum 30 MeV. Condiția care trebuie îndeplinită pentru ca să se realizeze accelerarea particulelor încărcate în ciclotron este sincronismul dintre perioada de mișcare a particulei care trebuie accelerată și perioada înaltei tensiuni de frecvență înaltă aplicată pe duanți.

Pentru a putea crește energia particulelor, ciclotronul a fost modernizat, scoțîndu-i un duant și folosind un oscilator care își descrește gradat frecvența cînd particulele parcurg traiectoria. Este necesară această modificare, deoarece, la viteze mari de ordinul vitezei luminii, masa particulelor variază cu viteza lor; masa crește cînd viteza crește, deci timpul pentru ca particulele să facă o revoluție în lungul drumului lor spiral crește și numărul de revoluții pe secundă scade. În aceste condiții nu mai există sincronismul cerut pentru accelerare. Dacă frecvența oscilatorului scade cu frecvența particulei, condiția de sincronism este din nou satisfăcută, particulele vor putea executa mai multe revoluții și vor căpăta o energie mai mare. Noul tip de aparat este cunoscut sub numele de *sincrociclotron*, sau *fazotron*, și a fost inventat de V.I. Vexler și E. Mac-Millan (1945). La Institutul unificat de la Dubna se află cel mai mare sincrociclotron din lume: are diametrul de 6 m și produce particule cu o energie de 680 MeV.

Fizica cere însă energii din ce în ce mai mari în laboratoare, pentru a putea reproduce în condiții controlate cel puțin o parte din fenomenele care apar în radiația cosmică. Cu sincrofazotroanele moderne, care ating energii de 30 de bilioane și în curînd 50 de bilioane de electronvolți, se împlinesc parțial aceste cerințe; unele din aceste aparate sînt în construcție și o parte în funcțiune. Sînt speranțe ca în curînd energia de 1 000 de miliarde de electronvolți să fie la îndemîna cercetătorilor.

Cu astfel de aparate s-au obținut antinucleoni (antiprotoni și antineutroni). Aparat de mare energie și de mare intensitate vor face posibil să se realizeze ciocniri între particulele a două fascicule ce se mișcă cu viteze colosale unele spre altele, obținîndu-se energii foarte mari față de cazurile în care ținta este fixă.

După cum am văzut, în urma ciocnirii particulelor de energii mari cu un nucleu-țintă se produc transmutări nucleare. Tipul transmutărilor nucleare depinde de structura nucleului-țintă, de felul particulei proiectil și de energia acelei particule. Astfel, bombardînd cu particule  $\alpha$  un nucleu de aluminiu, format din 27 de nucleoni (din care 13 protoni), obținem un nucleu de fosfor radioactiv, cu 30 de nucleoni (15 protoni și 15 neutroni).

Nucleul de fosfor-30 radioactiv emite un pozitron (electron pozitiv sau antielectron), trecînd într-un nucleu de  $^{30}_{14}\text{Si}$ , cu 14 protoni. Aceasta este chiar prima reacție care a dus la prepararea pe cale artificială a unui radioizotop; prin realizarea acestei reacții nucleare s-a descoperit *radioactivitatea artificială*.



Această descoperire a fost făcută în 1933 de Irène și Frédéric Joliot-Curie. După cinci ani de la obținerea acestui prim radioizotop s-au mai obținut aproximativ 500 de specii nucleare radioactive noi. Un alt exemplu din care se vede importanța energiei particulei este bombardarea nucleelor de  $^{63}_{29}\text{Cu}$  cu nuclee de  $^2_1\text{D}$  de diferite energii. În aceste condiții se obțin:  $^{64}_{30}\text{Zn}$ ,  $^{63}_{30}\text{Zn}$ ,  $^{64}_{29}\text{Cu}$ ,  $^{63}_{29}\text{Cu}$ ,  $^{62}_{29}\text{Cu}$ ,  $^{61}_{28}\text{Ni}$ , plus neutroni, protoni, deuteroni, tritoni (nuclee de tritiiu) sau particule  $\alpha$ . În afară de  $^{64}_{30}\text{Zn}$ ,  $^{61}_{28}\text{Ni}$  și  $^{63}_{29}\text{Cu}$ , toate celelalte nuclee obținute sînt radioactive.

Dacă se bombardează nuclee de  $^{23}_{11}\text{Na}$  cu protoni de mare energie, apar particule  $\alpha$  și nuclee de  $^{20}_{10}\text{Ne}$ . Procesul se petrece în felul următor: nucleul de sodiu are 11 protoni și 12 neutroni. În urma bombardării cu protoni se formează un nucleu cu 12 protoni și 12 neutroni, adică  $^{24}_{12}\text{Mg}$ . Nucleul acesta este instabil și se dezintegrează într-o particulă  $\alpha$  (2 protoni și 2 neutroni) și un nucleu de  $^{20}_{10}\text{Ne}$ , cu 10 protoni și 10 neutroni.

Un alt exemplu este acela în care particula-proiectil este un neutron rapid; acesta bombardează un nucleu de  $^{10}_5\text{B}$  și se formează un nucleu de  $^{11}_5\text{B}$ , care se dezintegrează într-o particulă  $\alpha$  și un nucleu de  $^3_3\text{Li}$ .

Reacția aceasta are o mare importanță practică, deoarece astfel pot fi opriți neutronii; deci borul constituie un material de protecție, aceasta fiind și calea prin care se pot detecta neutronii în mod indirect, prin particulele  $\alpha$  emise de bor. Dacă un contor este umplut cu triflorură de bor ( $\text{BF}_3$ ) și neutronii pătrund în contor, acesta îi detectează prin particulele  $\alpha$  ionizante care iau naștere cînd neutronul pătrunde în nucleul de bor.

**Jocul de energii în reacțiile nucleare.** Pentru ca o reacție nucleară să aibă loc, uneori trebuie dată energie (reacții endoenergetice), iar alteori, din contra, se eliberează energie (reacții exoenergetice). Se constată un lucru deosebit în aceste reacții nucleare, și anume masa elementelor care intră în reacție arată o discrepanță cu privire la conservarea ei. Întotdeauna masa unui nucleu este mai mică decît suma maselor nucleonilor componenți. Astfel, de exemplu, un atom de heliu, constituit din 2 protoni, 2 neutroni și 2 electroni, are o masă măsurată de 4,00388 amu<sup>1</sup>, iar masa nucleonilor constituenți este

$$M = 2m_p + 2m_n + 2m_e = 2 \cdot 1,007597 + 2 \cdot 1,008984 + 2 \cdot 0,000549 = 4,034260 \text{ amu},$$

unde  $m_p$ ,  $m_n$  și  $m_e$  sînt respectiv masa protonului, masa neutronului și masa electronului.

Defectul de masă  $\Delta m$  al nucleului  $^4_2\text{He}$  este:

$$\Delta m = 4,034260 - 4,00388 = 0,030380 \text{ amu}.$$

<sup>1</sup> Unitatea atomică de masă amu (*atomic mass unit*) este 1/12 din masa izotopului  $^{12}_6\text{C}$  și corespunde unei energii de 931,145 MeV.



Această descoperire a fost făcută în 1933 de Irène și Frédéric Joliot-Curie. După cinci ani de la obținerea acestui prim radioizotop s-au mai obținut aproximativ 500 de specii nucleare radioactive noi. Un alt exemplu din care se vede importanța energiei particulei este bombardarea nucleelor de  $^{63}_{29}\text{Cu}$  cu nuclee de  $^2_1\text{D}$  de diferite energii. În aceste condiții se obțin:  $^{64}_{30}\text{Zn}$ ,  $^{63}_{30}\text{Zn}$ ,  $^{64}_{29}\text{Cu}$ ,  $^{63}_{29}\text{Cu}$ ,  $^{62}_{29}\text{Cu}$ ,  $^{61}_{28}\text{Ni}$ , plus neutroni, protoni, deuteroni, tritoni (nuclee de tritiiu) sau particule  $\alpha$ . În afară de  $^{64}_{30}\text{Zn}$ ,  $^{61}_{28}\text{Ni}$  și  $^{63}_{29}\text{Cu}$ , toate celelalte nuclee obținute sînt radioactive.

Dacă se bombardează nuclee de  $^{23}_{11}\text{Na}$  cu protoni de mare energie, apar particule  $\alpha$  și nuclee de  $^{20}_{10}\text{Ne}$ . Procesul se petrece în felul următor: nucleul de sodiu are 11 protoni și 12 neutroni. În urma bombardării cu protoni se formează un nucleu cu 12 protoni și 12 neutroni, adică  $^{24}_{12}\text{Mg}$ . Nucleul acesta este instabil și se dezintegrează într-o particulă  $\alpha$  (2 protoni și 2 neutroni) și un nucleu de  $^{20}_{10}\text{Ne}$ , cu 10 protoni și 10 neutroni.

Un alt exemplu este acela în care particula-proiectil este un neutron rapid; acesta bombardează un nucleu de  $^{10}_5\text{B}$  și se formează un nucleu de  $^{11}_5\text{B}$ , care se dezintegrează într-o particulă  $\alpha$  și un nucleu de  $^3_3\text{Li}$ .

Reacția aceasta are o mare importanță practică, deoarece astfel pot fi opriți neutronii; deci borul constituie un material de protecție, aceasta fiind și calea prin care se pot detecta neutronii în mod indirect, prin particulele  $\alpha$  emise de bor. Dacă un contor este umplut cu triflorură de bor ( $\text{BF}_3$ ) și neutronii pătrund în contor, acesta îi detectează prin particulele  $\alpha$  ionizante care iau naștere cînd neutronul pătrunde în nucleul de bor.

**Jocul de energii în reacțiile nucleare.** Pentru ca o reacție nucleară să aibă loc, uneori trebuie dată energie (reacții endoenergetice), iar alteori, din contra, se eliberează energie (reacții exoenergetice). Se constată un lucru deosebit în aceste reacții nucleare, și anume masa elementelor care intră în reacție arată o discrepanță cu privire la conservarea ei. Întotdeauna masa unui nucleu este mai mică decît suma maselor nucleonilor componenți. Astfel, de exemplu, un atom de heliu, constituit din 2 protoni, 2 neutroni și 2 electroni, are o masă măsurată de  $4,00388 \text{ amu}^1$ , iar masa nucleonilor constituenți este

$$M = 2m_p + 2m_n + 2m_e = 2 \cdot 1,007597 + 2 \cdot 1,008984 + 2 \cdot 0,000549 = 4,034260 \text{ amu},$$

unde  $m_p$ ,  $m_n$  și  $m_e$  sînt respectiv masa protonului, masa neutronului și masa electronului.

Defectul de masă  $\Delta m$  al nucleului  $^4_2\text{He}$  este:

$$\Delta m = 4,034260 - 4,00388 = 0,030380 \text{ amu}.$$

<sup>1</sup> Unitatea atomică de masă amu (*atomic mass unit*) este  $1/12$  din masa izotopului  $^{12}_6\text{C}$  și corespunde unei energii de  $931,145 \text{ MeV}$ .



În 1905 Einstein a stabilit o relație de corespondență între masă și energie. La o variație  $\Delta m$  a masei corespunde o energie

$$E \text{ [erg]} = m \cdot c^2 \text{ [g} \cdot \text{cm}^2/\text{s}^2],$$

unde  $c$  este viteza luminii în vid.

În 1920 această ecuație a fost verificată experimental și de atunci ea a fost mereu reverificată printr-o mulțime de procese nucleare. Ea este considerată astăzi ca o relație sigură. În orice reacție nucleară, dacă se iau în considerare mase exacte, apar astfel de discrepanțe aparente față de cazul în care se iau în considerare numai numerele de masă.

La o variație de 1 g a masei unei substanțe corespunde o energie calorică de  $2,35 \cdot 10^{13}$  calorii, echivalentă cu cantitatea de căldură degajată prin arderea a 2 700 t de cel mai bun cărbune. Într-un mare număr de reacții, suma maselor de repaus după reacție este mai mare decât suma maselor dinainte de reacție.

În aceste cazuri, particula-proiectil trebuie să posede energie cinetică suficientă pentru a asigura creșterea masei. Lucrul acesta este posibil de realiza cu acceleratoarele actuale de particule.

Dacă se calculează defectul de masă pe nucleon și energia corespunzătoare acestei variații de masă, se obține o mărime foarte importantă: „energia de legătură a unui nucleon într-un nucleu”. Se constată că cu cât este mai mare această energie de legătură, cu atât sînt mai stabile nucleele respective față de pierderea unui nucleon. Din reprezentarea grafică a energiei de legătură pe nucleon față de numărul de masă (fig. 7) se vede că nucleele cu număr de masă intermediar sînt mai stabile decât oricare din nucleele de la cele două capete ale șirului de numere de masă. Stabilitatea crește puternic cu numărul de

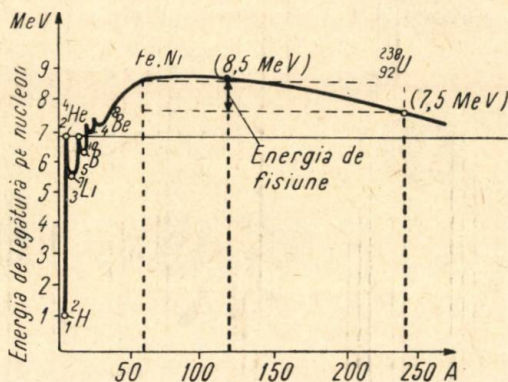


Fig. 7. Variația energiei de legătură pe nucleon în funcție de numărul de masă  $A$ .

masă la nucleele ușoare și devine aproape constantă la cele cu numărul de masă egal cu 50, ca apoi să scadă lent către uraniu —238. De aici se vede că ruperea unui nucleu greu în două nuclee de mase aproape egale („fisiune nucleară”) sau sinteza unor elemente mai grele din cele mai ușoare („fuziune nucleară”) duc la o variație de masă și implicit la o eliberare de energie.



**Fisiune nucleară.** Plecînd de la ideea că se pot obține elemente noi dacă putem adăuga neutroni la elementele existente, Fermi (1934) și colaboratorii săi au încercat să facă elemente cu număr atomic mai mare de 92, numite transuraniene. După bombardarea uraniului cu neutroni, ei au constatat prezența unei radiații  $\beta$ . Știind că prin emisiune  $\beta$  apar elemente cu număr atomic

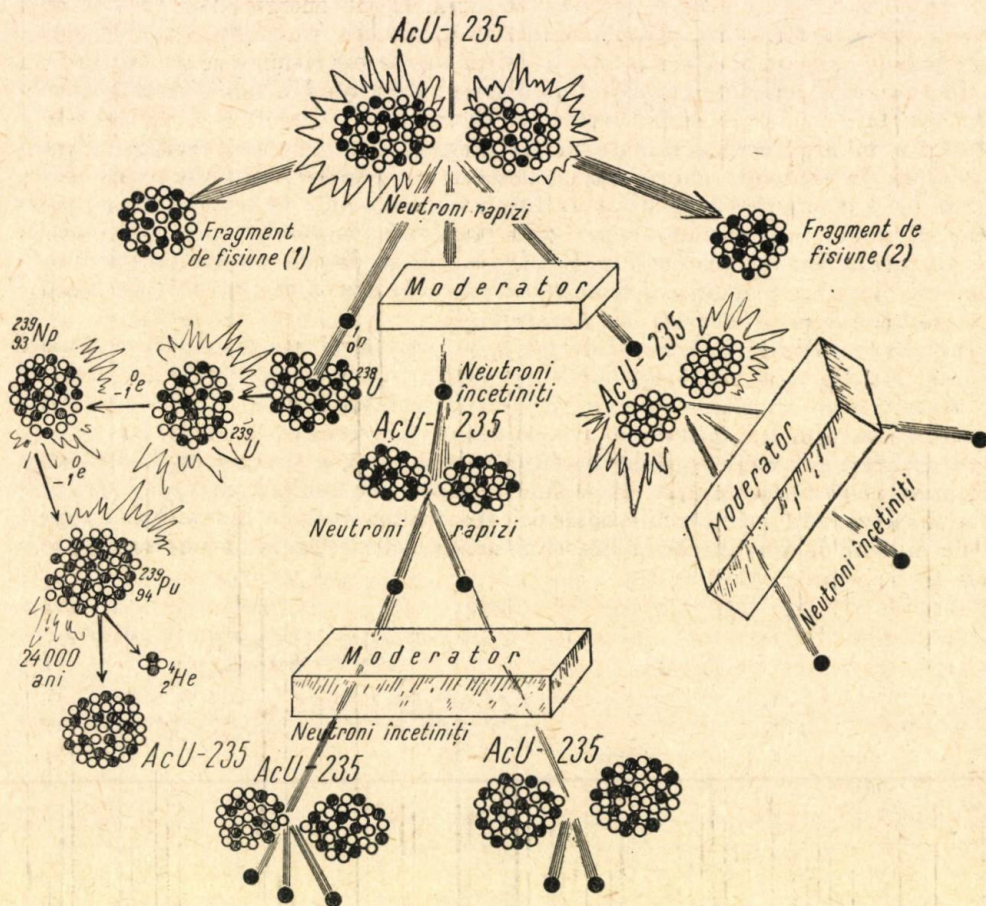


Fig. 8. Schema unei reacții în lanț și de obținere a  $^{239}_{94}\text{Pu}$ .

mai mare, au presupus că s-a preparat „transuranianul” cu numărul atomic 93 (neptuniu).

Otto Hahn și Fritz Strassmann au descoperit în 1939 că nucleul de uraniu se desface, în urma absorbției unui neutron, în două fragmente mari, de obicei de mase diferite (bariu —56 și kripton —36 de exemplu), adică au descoperit



„fisiunea nucleară“. Cercetări ulterioare au arătat că izotopul  $^{235}_{92}\text{U}$  este cel care se sparge în cele două nuclee mai ușoare și că în același timp se eliberează un număr de neutroni (2—3).

În procesele de fisiune în care se eliberează 2—3 neutroni trebuie considerat faptul că aceste procese se produc cu o micșorare a masei de aproximativ 0,1% din masa inițială, deci o eliberare considerabilă de energie. Pentru fiecare neutron care produce un act de fisiune se produc în medie, după cum se știe, 2,5 neutroni. Aceasta înseamnă că în condiții favorabile fisiunea se poate repeta în lanț („reacție în lanț“) (fig. 8). Acest proces este fundamental, pentru construcția reactorilor nucleari (de cercetare, chimici sau energetici). Fragmentele rezultate în urma procesului de fisiune sînt radioactive, emit radiații  $\beta$  și  $\gamma$  și trec în elemente stabile. Dacă supunem operației de fisiune uraniul —235,1 kg din acest element va elibera o energie calorică egală cu cea produsă de 2 500 t de cărbune, sau 22 500 000 kWh de energie electrică, suficientă pentru a satisface nevoile de energie ale 150 000 de familii timp de o lună. Un kilogram de uraniu fisinat complet ar da deci de 8 000 000 de ori mai multă energie decît arderea unui kilogram din cel mai bun cărbune.

Producerea reacției în lanț poate fi uneori împiedicată, deoarece uraniul natural este un amestec de trei izotopi (uraniu —238, —235 și —234), care nu reacționează la fel cu neutronii de diferite energii (fig. 9). Uraniul —238 absoarbe neutroni cu viteze mici fără a se fisiona. Uraniul —238 nu se fisionează decît cu neutroni rapizi, în schimb uraniul —235 se fisionează atît sub acțiunea neutronilor rapizi, cît și sub acțiunea neutronilor lenți.

Altă cauză este ieșirea neutronilor din spațiul în care se află uraniul; acești neutroni sînt pierduți pentru reacție; de aceea pentru fiecare bloc de uraniu se definește masa sa critică, adică masa în care se poate produce o reacție în lanț, la care deci începe să dispară posibilitatea pierderii neutronilor prin ieșirea lor din bloc. De asemenea, prezența impurităților în uraniu poate produce absorbirea neutronilor; este necesară o purificare chimică foarte îngrijită ( $1/10^6$ ).

Uraniul —238, care nu se fisionează cînd captează un neutron lent, dă — așa cum se vede în figura 8 — un alt element: plutoniul —239. Acesta este radioactiv, emite particule  $\alpha$  și se transformă, cu un timp de înjumătățire<sup>1</sup> de 24 000 de ani, în uraniu —235.

Variația masei plutoniului cu un atom-gram de substanță ( $239 \text{ g } ^{239}_{94}\text{Pu}$ ) ar da o energie de  $5,62 \cdot 10^9$  Mcal, sau  $6,5 \cdot 10^9$  kWh. Dacă s-ar produce o variație mai mică a masei, însă într-un timp scurt, într-o fracțiune de secundă, atunci s-ar produce o explozie puternică. O miime din masa nucleului de plutoniul dezintegrată în 0,01 s dă o energie explozivă echivalentă cu 5 620 000 t din cel mai bun exploziv (TNT) și o putere de  $5,62 \cdot 10^{17}$  cal/s. Temperatura substanței dezintegrate atinge milioane de grade.

Folosirea plutoniului, elementul 94, ca combustibil nuclear ar permite construirea unor instalații cu reacții în lanț pentru obținerea de energie în care ar fi necesare numai 100 kg de combustibil în loc de 100 t necesare în cazul

<sup>1</sup> Timpul în care numărul inițial de nuclee radioactive scade, prin dezintegrare, la jumătate.



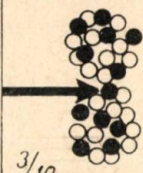
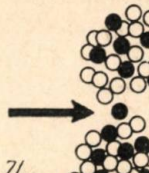
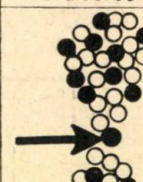
| Viteza<br>neutronilor              | URANIU-235                                                                                                              |                                                                                                                          | URANIU-238                                                                                                              |                                                                                                                           |
|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| FOARTE<br>RAPIZI<br>( $> 10^6$ eV) | <br>$3/10$<br>Fisiune                  | <br>$7/10$<br>împrăștiere<br>elastică   | <br>$3/10$<br>împrăștiere<br>elastică  | <br>$7/10$<br>Fisiune                   |
| RAPIZI<br>( $< 10^6$ eV)           | <br>$7/10$<br>Fisiune                  | <br>$3/10$<br>împrăștiere<br>elastică   | <br>$7/10$<br>împrăștiere<br>elastică  | <br>$3/10$<br>Captură                   |
| DE REZONANȚĂ<br>( $0,1 - 0,7$ eV)  | <br>$7/10$<br>împrăștiere<br>elastică | <br>$3/10$<br>Fisiune                  | <br>$1/10$<br>împrăștiere<br>elastică | <br>$9/10$<br>Captură                  |
| TERMICI<br>( $< 0,3$ eV)           | <br>$9/10$<br>Fisiune                | <br>$1/10$<br>împrăștiere<br>elastică | <br>$1/10$<br>Captură                | <br>$9/10$<br>împrăștiere<br>elastică |

Fig. 9. Reprezentarea proceselor care au loc cu uraniu natural, în funcție de energia neutronilor incidenti.



instalațiilor cu uraniu natural. 1 000 kg de uraniu natural conțin 7 kg de material fisionabil U-235. Dacă factorul de multiplicare<sup>1</sup> rămâne constant egal cu 1 și dacă neutronii care devin liberi prin fisiune sînt capturați de U-238, prin fisionarea a 7 kg U-235 iau naștere 7 kg Pu. Cele 7 kg Pu iau rolul lui U-235 și produc iarăși 7 kg Pu. Procesul ar putea continua pînă ce întreg uraniul este consumat. Aceasta este ideea modernă de realizare a reactoarelor nucleare în scopuri industriale și va concura ca materie primă chiar cu reacțiile de fuziune nucleară.

Ideea unei reacții nucleare în lanț divergentă a avut-o savantul francez Fr. Joliot-Curie încă înainte de descoperirea fisiunii uraniului, cu ocazia descoperirii de către el a radioactivității artificiale; însă pînă în 1939 nici un tip de reacții nucleare descoperite nu răspundea condițiilor pe care trebuie să le îndeplinească o reacție în lanț ca să poată fi amorsată. Punerea în evidență a fisiunii uraniului a adus cu sine și descoperirea că în acest proces, pe lângă fragmentele de fisiune, se eliberează și 2—3 neutroni. Producerea unei reacții în lanț era deci posibilă. Cercetări consecvente au dus la cunoașterea componenților izotopici ai uraniului natural (adică 0,72% U-235 și 99,275% U-238 și un procent foarte mic: 0,005% U-234), care acționează diferit cu neutronii de diferite viteze, așa cum am văzut: U-238 capturează neutronii lenți, prezentînd o absorbție foarte mare pentru neutroni cu energii în jurul valorii de 25 eV, și se fisionează numai cu neutroni rapizi. În schimb U-235 se fisionează și cu neutroni lenți cu viteze pînă la cea corespunzătoare agitației termice. Pentru ca să se poată deci realiza o reacție în lanț divergentă cu uraniu natural, neutronii trebuie încetiniți pînă la viteza termică cu ajutorul moderatoarelor (substanțe care prin șocul neelastice cu neutronii rapizi le micșorează viteza); de asemenea trebuie evitată absorbția de către U-238 a neutronilor încetiniți.

Astfel de substanțe moderatoare sînt apa obișnuită, apa grea și carbonul, iar în ultima vreme lichidele organice, cum ar fi polifenilii, difenilii, trifenilii și derivații acestora. Apa ordinară, care este cel mai bun moderator, nu poate fi folosită din cauza avidității foarte mari a hidrogenului pentru neutroni. Rămîn utilizabile numai apa grea sau lichidele organice (carbonul din ele). Trebuiau însă tone de apă grea, zeci de tone de carbon pur și zeci de tone de uraniu pur. În urma unor eforturi industriale considerabile s-au putut realiza reacții în lanț cu U-235. Descoperirea noului element transuranic plutoniu —94, de masă atomică 239, a schimbat rolul izotopului U-238: dintr-un parazit el a devenit materia principală pentru producerea plutoniului, care pe de o parte, prin emisiune de particule  $\alpha$ , se dezintegrează cu un timp de înjumătățire de 24 000 de ani, trecînd în uraniu —235, element fisionabil cu neutroni lenți, iar pe de altă parte el însuși este sensibil la fisiune. Problema producerii energiei nucleare se putea soluționa prin separarea izotopică pe scară mare a uraniului —235 și producerea în pile a noului element, plutoniul.

O pildă atomică este constituită din blocuri cubice de oxid de uraniu și de grafit industrial, care alternează după trei direcții perpendiculare în spațiu.

<sup>1</sup> Factorul de multiplicare ( $k$ ) indică de cîte ori crește, de la o generație la alta, numărul de neutroni care conduc la fisiune nucleară.



S-a văzut repede că pentru a avea un factor de reproducție apropiat de 1 trebuie să se utilizeze uraniu metalic pur în locul oxidului de uraniu. O cantitate de uraniu metalic pur a fost pusă în centrul pilei de oxid de uraniu și astfel reacțiile în lanț s-au putut produce. Oprirea funcționării pilei se face folosind bare de cadmiu. Acestea se introduc în interiorul pilei (cadmiul prezintă o foarte mare absorbție în special pentru neutronii lenti).

Reactoarele nucleare cu apă grea au dimensiuni mai mici pentru aceeași putere, căci apa grea se poate purifica mai ușor și este un moderator mai bun; are însă defectul că aproape de  $100^{\circ}\text{C}$  ea fierbe și face ca funcționarea pilei să fie instabilă. Utilizarea lichidelor organice ca moderatori și agenți de răcire este avantajoasă din cauza intervalului mare dintre temperatura de topire și cea de fierbere ( $150-350^{\circ}\text{C}$ ).

Un alt tip de reactor atomic este constituit dintr-o cuvă cilindrică de aluminiu conținând câteva tone de apă grea. În această apă se așază tuburi de aluminiu umplute cu oxid de uraniu fretat. Cuvă cu apă este înconjurată cu un zid de grafit care joacă rolul de reflector pentru neutroni. O cămașă de aproape 1 m grosime de beton protejează operatorii. Barele de cadmiu sau de oțel cu bor pot fi coborâte mai mult sau mai puțin în apa grea, pentru a regla punctul critic de amorsare al reacției în lanț sau de a opri brusc reacția (atât cadmiul, cât și borul absorb neutroni).

Procesul de fisiune se produce cu degajarea unei mari cantități de căldură, care trebuie transportată prin intermediul unei mari cantități de apă ce iese din pilă, încălzită pînă la câteva sute de grade Celsius ( $150-400^{\circ}\text{C}$ ). Această apă fierbinte poate servi ca mijloc de încălzire în radiatoare potrivite, în procesele de uscare industrială, poate alimenta cazane de vapori, reactorul jucînd rolul focarului într-o instalație de vapori care mișcă turbinele cu vapori sau turboalternatoarele din centralele atomoelectrice.

Un alt exemplu îl constituie reactorul de la Institutul de fizică atomică din București. El este un reactor nuclear experimental cu apă naturală și uraniu îmbogățit (fig. 10). „Inima” reactorului este alcătuită din elemente de combustibil cilindrice conținînd uraniu îmbogățit cu 10% uraniu-235. Elementele de combustibil sînt îmbrăcate în cămăși de aluminiu în formă de tuburi cu diametrul de 9 mm și au o înălțime de lucru de 500 mm. Distanța dintre elemente este de 18 mm. „Inima” reactorului este situată într-o conductă de 500 mm diametru, sudată la capătul de jos de o cuvă umplută cu apă. Apa din cuvă servește ca reflector.

Ecranarea reactorului s-a făcut cu apă și fier turnat. Nivelul superior al apei în cuvă ajunge la o înălțime de 3,5 m deasupra inimii reactorului și servește ca protecție contra radiației reziduale cînd se schimbă elementele de combustibil în reactor.

Apa din reactor este pompată continuu într-un schimbător de căldură, unde este răcită cu apa din cel de-al doilea circuit. În acest tip de reactor se formează în apă un amestec de gaz exploziv, care este înlăturat cu ajutorul unui aparat special.

Reactorul este reglat cu ajutorul unor bare absorbante inserate în inima lui. Patru bare sînt folosite pentru reglarea reacției în lanț, în timp ce trei bare, în



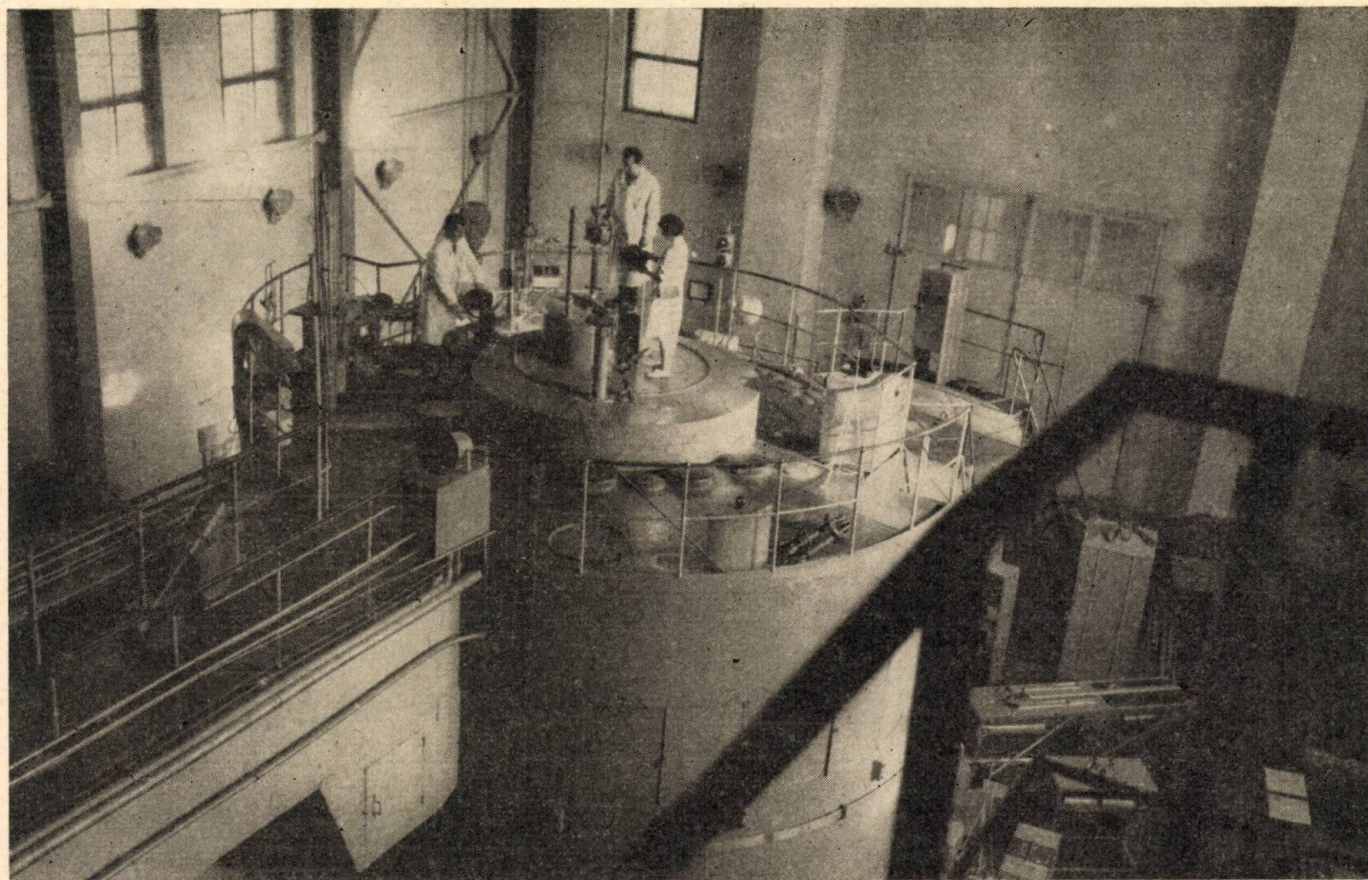


Fig. 10. Reactorul de 2 000 kW de la Institutul de fizică atomică din București.



caz de urgență, pot opri reacția în 0,5 s. Capacitatea nominală este de 2 000 kW și conține 4,5 kg U-235. Fluxul maxim de neutroni termici atinge  $2 \cdot 10^{13}$  neutroni pe centimetru pătrat și pe secundă și fluxul mediu de  $1 \cdot 10^{13}$  neutroni pe centimetru pătrat și pe secundă.

Reactorul este folosit pentru un larg domeniu de cercetări în fizica nucleară, radiochimie, radiobiologie și pentru producerea de izotopi radioactivi.

În încheierea acestui capitol dăm două exemple de reactoare energetice cu ajutorul cărora s-au realizat două centrale atomoelectrice.

În ziua de 27 iunie 1954 a intrat în funcțiune prima centrală atomoelectrică din lume care produce curent electric pe baza energiei atomice; este vorba de Centrala atomoelectrică a Academiei de Științe a U.R.S.S. Instalația conține un reactor eterogen (în care moderatorul este grafit), răcit cu apă naturală sub presiune ridicată. Materialul fisionabil — uraniu îmbogățit, sub forma unui aliaj special — este distribuit în moderator sub formă de elemente de combustibil separate. Elementele de combustibil împreună cu sistemul lor de răcire formează „canalele” în blocurile de grafit ale moderatorului. Inima reactorului are un diametru de 150 cm și o înălțime de 160 cm, cuprinzând 120 de canale verticale. Grafitul se află la temperatură ridicată și, pentru a nu arde, golurile din blocurile de grafit sînt umplute cu heliu și azot. Inima reactorului este înconjurată de pereți groși de beton și strate de apă pentru protecția operatorilor. Apa de răcire este trimisă în reactor la temperatura de  $190^{\circ}\text{C}$  și 100 atm presiune și părăsește reactorul la  $260\text{--}270^{\circ}\text{C}$ . Apa este trimisă la generatorul de vaporii și apoi la turbogenerator. La intrare în turbină, temperatura vaporilor este de  $255\text{--}260^{\circ}\text{C}$  și presiunea de 12,5 atm. Capacitatea termică a reactorului de putere (cantitatea de energie termică produsă în reactor pe secundă) este de 30 000 kW, iar capacitatea electrică de 5 000 kW.

Reactoarele nucleare prezintă, așa cum am văzut, un aspect foarte important și plin de perspective pentru viitorul energiei nucleare: o mare majoritate dintre ele produc, pe lângă reacția de fisiune, și material fisionabil nou prin iradierea în reactor a unor materiale care altfel nu sînt fisionabile. Așa este, de exemplu,  $^{238}\text{U}$  și  $^{232}\text{Th}$ , care în urma iradierii cu neutroni trec în  $^{239}\text{Pu}$  și, respectiv, în  $^{233}\text{U}$ , ambele fisionabile. Este deci posibilă o înmulțire a materialului fisionabil cu un factor de conversiune<sup>1</sup> de 1,2 în reactoarele termice cu toriu—232, omogene, moderate cu apă grea, și se apropie numai de valoarea 1 în cele eterogene care utilizează drept moderator, apă naturală. Combustibilul nuclear este înmulțit cel mai bine într-un reactor cu neutroni rapizi, în care materialul fertil<sup>2</sup> este  $^{238}\text{U}$ , din care rezultă  $^{239}\text{Pu}$ , care poate fi separat chimic după ce a atins o concentrație suficientă. Într-un astfel de reactor nu mai există moderator și inima reactorului conține numai combustibilul, materialul fertil (uraniu sau toriu) și agentul de răcire. Dimensiunile unui astfel de reactor sînt mici și puterea pe unitatea de volum a reactorului este de 20—50 de ori mai mare decît a reactoarelor termice obișnuite. Transferul de căldură se

<sup>1</sup> Raportul dintre cantitatea de material fisionabil produs și cantitatea de material fisionabil consumat.

<sup>2</sup> Orice izotop care poate fi convertit într-un material fisionabil prin captura unui neutron.



face cu sodiu lichid sau cu un aliaj de sodiu și potasiu, care nu reduc energia neutronilor și deci nu afectează factorul de conversie. Calculele și lucrările experimentale au arătat că cu o inimă de reactor de 90 cm diametru și 90 cm înălțime se poate atinge o putere termică de 500 000 kW. De asemenea, ciclul vaporilor poate fi efectuat cu vapori de parametri ridicați (90 atm presiune și 450—500°C temperatură), deci în condiții de eficiență ridicată.

Un reactor înmulțitor cu neutroni rapizi a fost folosit la stația atomoelectrică „Enrico Fermi”, lângă Detroit, cu o putere termică de 300 000 kW și o putere electrică brută de 100 000 kW. Ca element combustibil s-a folosit o cantitate de 485 kg de uraniu îmbogățit în uraniu —235 (27%). Nu există moderator. Primul circuit de răcire se face cu sodiu topit la o presiune de 6,47 atm, temperatura agentului de răcire fiind de 288°C la intrarea în reactor și de 427°C la ieșire. Circuitul intermediar de răcire este constituit tot cu sodiu topit la o presiune de 21,1 atm, temperatura la intrare fiind de 260 și 399°C la ieșire. În al treilea circuit de răcire agentul este apa naturală, cu o presiune de 42,2 atm, temperatura la intrare fiind de 204°C, iar la ieșire de 393°C. Intrarea în turbina generatorului se face la 393°C și o presiune mai mare de 42 atm.

Din cauza efectelor de radiație și a otrăvirii cu fragmente de fisiune, combustibilul trebuie descărcat periodic cu mult înainte de a fi complet ars; reactorul trebuie reîncărcat de mai multe ori înainte de a obține de două ori cantitatea de uraniu investită. Uraniul —235 nefisionat trebuie bine separat; procedeul chimic trebuie să fie extrem de eficient atît în ceea ce privește recuperarea uraniului —235, cît și a plutoniului. Altfel, deși procesul de înmulțire (*breeding*) este real, nu putem avea avantaje de pe urma lui.

În prezent există construite sau în construcție reactoare de cele mai diferite tipuri. Ele au început să fie utilizate nu numai în scopuri experimentale sau în centrale atomoelectrice, ci și pentru echiparea unor vase cu motoare atomice (spărgătoare de gheață, submarine și, de curînd, un vas de transport). Deocamdată motoarele atomice nu pot fi folosite la vehiculele terestre sau la avioane, din cauza greutății enorme a blindajului de protecție contra radiațiilor. Totuși proiecte în acest sens sînt pe cale de a deschide largi perspective de aplicare și în această direcție.







Izotopii radioactivi  
și folosirea lor  
în economia națională

---

**M. ONCESCU**

șef de laborator Institutul de fizică nucleară







## PROPRIETĂȚILE RADIAȚIILOR EMISE ÎN DEZINTEGRAREA RADIOACTIVĂ

Scurt timp după descoperirea radioactivității s-a arătat că radiațiile emise în acest fenomen sînt de trei tipuri: radiații  $\alpha$ , radiații  $\beta$  și radiații  $\gamma$ . Radiațiile  $\alpha$  și  $\beta$  sînt formate din particule încărcate electric; particulele  $\alpha$  au masa de 4 ori mai mare ca a atomului de hidrogen, iar particulele  $\beta$  au o masă de aproape 1 800 ori mai mică decît atomul de hidrogen. Radiațiile  $\gamma$  sînt formate din cuante de energie<sup>1</sup> care apar concomitent cu particulele  $\alpha$  sau  $\beta$  din nucleul atomului.

Datorită vitezelor lor mari și modului în care interacționează cu substanța, aceste particule pot străbate diferite corpuri. Astfel radiațiile  $\alpha$  străbat corpuri subțiri și ușoare, de pildă hîrtia, radiațiile  $\beta$  corpurile ceva mai groase și mai grele, de exemplu aluminiul, masele plastice, sticla, iar radiațiile  $\gamma$  chiar straturi groase de beton și fier.

În timpul trecerii prin diferite corpuri, radiațiile nucleare se ciocnesc cu electronii de la periferia atomului sau chiar cu nucleul atomic, dînd naștere unui șir întreg de fenomene. Cel mai simplu efect de interacțiune dintre radiațiile nucleare și atomi este *ionizarea*. Prin ciocnire, un electron este smuls din atom, care rămîne încărcat pozitiv, devenind un ion pozitiv. Se poate întîmpla ca electronul să se atașeze unui atom, formînd astfel un ion negativ. Ionul pozitiv și ionul negativ formează o pereche de ioni, dar și pentru ionul pozitiv și electron se întrebuintează denumirea de pereche de ioni. Această noțiune este foarte importantă, deoarece o radiație nucleară se caracterizează prin numărul de perechi de ioni formați de-a lungul traiectoriei sale, sau, mai precis, prin numărul de perechi de ioni formați pe unitatea de lungime a traiectoriei. Cu cît o radiație formează mai multe perechi de ioni pe centimetru, cu atît puterea sa de ionizare este mai mare. Dintre toate radiațiile nucleare, cea mai mare putere de ionizare o au radiațiile  $\alpha$ . O particulă  $\alpha$  lasă în urma ei o diră compusă din foarte numeroși ioni. Radiația  $\beta$  are o putere de ionizare mai mică, iar radiația gamma o putere de ionizare și mai redusă.

Între puterea de ionizare și puterea de pătrundere există o strînsă legătură. Prin ciocniri și ionizări repetate, radiațiile nucleare pierd energia, pînă cînd sînt cu totul absorbite de atomii corpului prin care trec. Cu cît puterea de ionizare este mai mare, cu atît pierderea de energie crește și deci parcursul străbătut este mai scurt. În figura 1 se observă diferența dintre particula  $\alpha$  și

<sup>1</sup> Prin „cuantă de energie” înțelegem un „pachet” de energie electromagnetică.



particula  $\beta$  din punctul de vedere al puterii de ionizare (numărul de perechi de ioni pe centimetru) și al puterii de pătrundere (lungimea parcursului).

Ionizarea este o proprietate fundamentală a radiațiilor emise de substanțele radioactive; de aceea ele sînt numite adeseori „radiații ionizante”. Apariția ionilor în anumite substanțe are o serie de urmări. De exemplu, un gaz cum este aerul devine prin ionizare bun conducător de electricitate. Provocarea conductibilității electrice în gaze de către radiațiile nucleare stă la baza detectării lor.

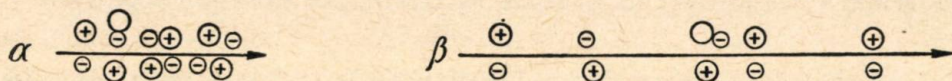


Fig. 1. Reprezentare schematică comparativă a puterii de ionizare și a lungimii parcursului particulelor  $\alpha$  și  $\beta$ .

Cei mai întrebuiți detectori de radiații nucleare sînt camera de ionizare și contorul Geiger-Müller.

O cameră de ionizare se compune din doi electrozi metalici între care există o diferență de potențial electric. La trecerea unor radiații ionizante în spațiul dintre electrozi apar perechi de ioni care sînt atrași către electrozii de semn contrar, așa cum se vede în figura 2.

În acest fel, pe electrozi se adună o sarcină electrică, care provoacă în circuitul electric al camerei de ionizare un curent electric. Curentul electric poate servi la măsurarea intensității radiației care a străbătut camera de ionizare.

Contorul Geiger-Müller este un detector de radiații mult mai sensibil decît camera de ionizare. El este astfel construit, încît procesul de ionizare are loc

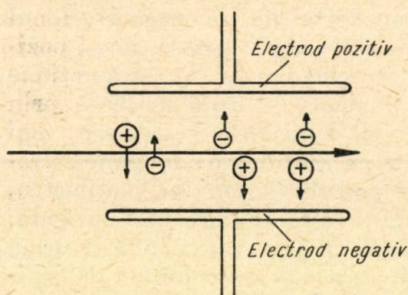


Fig. 2. Reprezentare schematică principială a unei camere de ionizare.

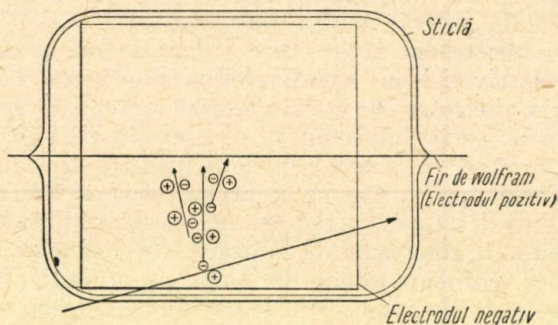


Fig. 3. Schema unui contor Geiger-Müller.

în avalanșă, particula inițială declanșînd producerea unui număr uriaș de ioni. Cu alte cuvinte, electronii care se îndreaptă spre electrodul pozitiv produc, la rîndul lor, o ionizare, iar electronii din această ionizare produc altă ionizare și așa mai departe (fig. 3). Pentru formarea acestei avalanșe este necesară o formă geometrică specială a electrozilor (electrodul pozitiv este un fir de wol-



fram foarte subțire, situat de-a lungul axei electrodului negativ, care este cilindric), o diferență de potențial mai mare decât la camera de ionizare (500—1 500 V) și un amestec gazos de umplere a contorului care să nu se modifice în timp. Ultima cerință impune un recipient etanș.

## IZOTOPII RADIOACTIVI

Emiterea radiațiilor de către nucleul atomic arată că acesta are o anumită structură internă și că în interiorul nucleului au loc anumite procese care duc la modificarea sa, adică la transformarea unei specii nucleare în alta. Să lămurim acum noțiunea de specie nucleară și, legată de ea, pe aceea de izotop.

Se știe astăzi că nucleul atomic este constituit din particule numite protoni, care sînt încărcate cu electricitate pozitivă, și neutroni, care sînt neutri din punct de vedere electric. Numărul protonilor din nucleu este egal cu numărul electronilor din învelișul atomului cînd acesta este neutru din punct de vedere electric; acest număr se numește numărul atomic. De numărul electronilor și deci de numărul protonilor sînt legate proprietățile chimice ale substanței respective. Numărul neutronilor însă poate varia fără ca aceste proprietăți să se schimbe.

Totalitatea atomilor care au aceeași constituție a nucleului, adică același număr de protoni și același număr de neutroni, formează o specie nucleară. Speciile nucleare care au același număr atomic poartă numele de izotopi. Ansamblul izotopilor cu un anumit număr atomic, adică același număr de protoni, numărul de neutroni putînd varia, formează un element chimic. Diferența dintre izotopii aceluiași element chimic constă deci în numărul neutronilor din nucleu. Suma dintre numărul protonilor și numărul neutronilor se numește numărul de masă; prin urmare, izotopii unui element chimic diferă între ei prin numărul lor de masă. Toți izotopii unui element chimic poartă denumirea elementului chimic respectiv. Pentru a-i distinge li se adaugă numărul de masă la simbolul chimic.

De exemplu, prin notația  $^{60}\text{Co}$  înțelegem izotopul cobaltului cu numărul de masă 60. Cîteodată, cînd este necesar, se adaugă la această notație și numărul atomic. Atunci se scrie  $^{60}_{27}\text{Co}$ , unde 27 este numărul atomic. Într-un singur caz izotopii aceluiași element chimic au denumiri diferite. Este vorba de cei trei izotopi ai hidrogenului:  $^1\text{H}$ ,  $^2\text{H}$  și  $^3\text{H}$ . De multe ori, ultimii doi izotopi se numesc deuteriu (simbol  $\text{D}$ ) și tritiiu (simbol  $\text{T}$ ). Prin urmare, notația  $\text{D}$  este identică cu  $^2\text{H}$ , iar notația  $\text{T}$  este identică cu  $^3\text{H}$ .

Nucleele unor izotopi sînt stabile, adică nu emit nici un fel de radiație și deci nu are loc vreo transformare a lor în altă specie nucleară. În schimb, nucleele altor izotopi sînt instabile, adică ansamblul protonilor și neutronilor din nucleu nu constituie o configurație stabilă. În acest caz se emit radiațiile nucleare.



În figura 4 se arată emiterea unei radiații  $\alpha$  dintr-un nucleu și emiterea unei radiații  $\beta$  din alt nucleu.

Prin emiterea de radiații, nucleul unei substanțe radioactive își schimbă alcătuirea. Avem deci de-a face cu o transformare spontană a unei specii nucleare în alta, sau, cum se mai spune, cu o transmutație. Aceasta are loc cu dega-

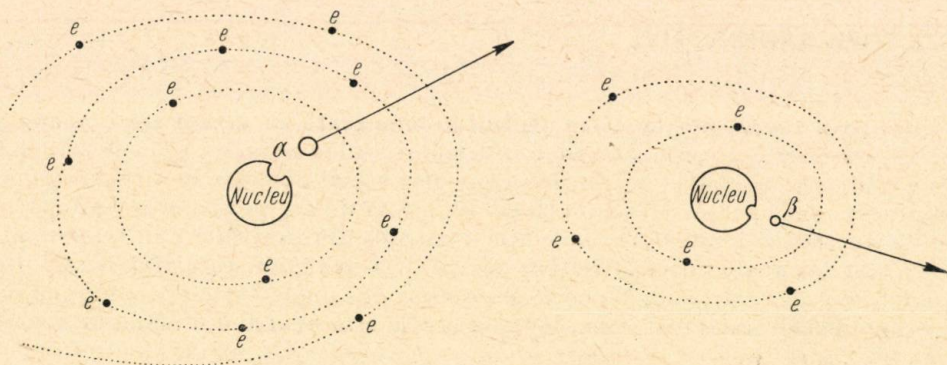


Fig. 4. Emiterea de radiații  $\alpha$  sau  $\beta$  din nucleu.

jarea sub formă de radiații a unei părți din energia uriașă conținută în nucleul atomic.

Izotopii al căror nucleu se dezintegrează prin emiterea unor radiații se numesc *izotopi radioactivi*, și, deoarece fenomenul radioactivității a fost descoperit la specii nucleare care se găsesc în natură, aceștia se numesc *izotopi radioactivi naturali*. Dar cauza dezvoltării extraordinare a folosirii radiațiilor nucleare și a izotopilor radioactivi nu se datorește numai izotopilor radioactivi naturali, ci în special izotopilor radioactivi artificiali, care au fost obținuți de om în laborator.

Imediat ce s-a lămurit procesul transmutațiilor spontane a apărut posibilitatea efectuării transmutațiilor dirijate, adică provocate în laborator. Care puteau fi mijloacele de „pătrundere” în interiorul nucleului pentru a-i schimba structura? Răspunsul a fost găsit cu ajutorul radiațiilor nucleare. Acestea sînt proiectilele cu care au bombardat nucleele atomice provocîndu-se transmutații. A apărut posibilitatea de a transforma elementele unul în altul. Mai mult, a apărut posibilitatea creării unor specii nucleare noi, necunoscute în natură.

În 1934 soții Frédéric și Irène Joliot-Curie au supus bombardamentului cu particule  $\alpha$  „ținte” de magneziu, aluminiu și bor. Ei au dovedit că apar transmutații care duc la apariția unor specii nucleare noi: izotopii siliciului, ai fosforului și ai azotului. Numai că acești izotopi nou creați au în plus o proprietate care nu există în natură, și anume ei sînt radioactivi, emițînd radiații  $\beta$ .



În felul acesta au fost creați pentru prima oară izotopii radioactivi artificiali. Curînd după aceasta, producerea izotopilor radioactivi artificiali a început în numeroase laboratoare din lumea întreagă. La numai trei ani după descoperirea lor se cunoșteau 200 de izotopi radioactivi artificiali. În 1944 se cunoșteau 500 de asemenea izotopi, iar după 1955 numărul lor a depășit 1 000. Astăzi nu există nici un element chimic care să nu aibă cel puțin un izotop radioactiv artificial. Există elemente la care numărul acestora este foarte mare: 20 sau chiar 30.

Acest succes însemnat se explică prin faptul că s-au descoperit metode noi, mai eficiente de bombardare a nucleelor în vederea producerii de izotopi radioactivi. În loc de a folosi radiațiile emise de substanțele radioactive, radiații a căror energie s-a dovedit uneori insuficientă, se folosesc particule cu energii mai ridicate, obținute cu ajutorul acceleratoarelor de particule. Aceste instalații complexe, dintre care cel mai cunoscut este ciclotronul, produc fascicule intense de particule de energii mari cu ajutorul cărora se produc transmutațiile care duc la apariția unor noi izotopi radioactivi.

După cum a arătat fizicianul Enrico Fermi, bombardarea cu neutroni este un mijloc și mai potrivit de producere a izotopilor radioactivi. Prin iradierea cu fluxuri intense de neutroni produse într-un reactor nuclear, se poate obține un mare număr de izotopi radioactivi.

Producerea izotopilor radioactivi cu ajutorul reactoarelor nucleare și al acceleratoarelor de particule a făcut progrese însemnate în toate țările care dispun de un nivel tehnic mai ridicat. S-au pus la punct tipuri perfecționate de reactoare și acceleratoare, cu ajutorul cărora, pe lângă o serie de alte cercetări importante, s-a trecut și la producția de izotopi radioactivi.

În țara noastră au fost instalate un reactor și un ciclotron. Cu ajutorul acestor instalații a și început producția de izotopi radioactivi. Prin livrarea lor către institutele de cercetări, unităților industriale, agricole sau medicale, acestea au căpătat posibilitatea să introducă metode avansate de cercetare și de control.

## CARACTERISTICILE METODELOR CU IZOTOPI RADIOACTIVI

Metodele cu izotopi radioactivi s-au răspîndit foarte repede, imediat ce producerea lor s-a realizat pe scară industrială. Aceasta se explică printr-o serie de avantaje pe care le oferă folosirea izotopilor radioactivi. În primul rînd, nu necesită instalații complicate și prea costisitoare și nici un personal de exploatare și de întreținere prea numeros. În al doilea rînd, domeniile în care izotopii radioactivi își găsesc întrebuințări avantajoase sînt practic nelimitate, cuprinzînd atît cercetările tehnice-științifice de laborator, cît și industria, agricultura, creșterea animalelor, medicina, biologia etc. În toate aceste ramuri atît de variate, utilizarea izotopilor radioactivi a permis rezolvarea unor probleme care nu au putut fi soluționate cu metodele „clasice”. Un al treilea avantaj al folosirii izotopilor radioactivi, de mare importanță



pentru țara noastră, se referă în special la producția industrială. Cu ajutorul izotopilor radioactivi se poate obține și a și fost obținută într-o serie de cazuri o importantă creștere a productivității muncii, însoțită de realizarea de economii și de creșterea calității produselor. Utilizarea izotopilor radioactivi permite o mai deplină folosire a utilajelor, un control precis și comod al procesului tehnologic, fiind un auxiliar de preț la automatizarea producției.

Diferitele metode cu izotopi radioactivi se pot împărți în câteva categorii mari caracterizate prin anumite însușiri comune.

O primă categorie se bazează pe utilizarea radiațiilor emise de izotopii radioactivi ca semnale ale prezenței acestora într-un anumit loc. Spre exemplu, dacă o anumită cantitate de fosfor conține un mic adaos de fosfor radioactiv, se poate urmări circulația lui în diverse procese tehnologice sau prezența resturilor de fosfor în metale și aliaje.

Aceste metode se numesc metode cu „atomi marcați” sau cu „trasori radioactivi”. O asemenea metodă se caracterizează printr-o sensibilitate ridicată, deoarece aparatura de detectare permite punerea în evidență a unor cantități extrem de mici de izotopi radioactivi. Nici o altă metodă de analiză folosită până astăzi nu este atât de sensibilă.

Faptul că izotopul radioactiv are aceleași proprietăți chimice cu izotopul neradioactiv în care este încorporat constituie un avantaj deosebit, deoarece amestecul o dată realizat se păstrează în decursul diferitelor procese supuse studiului, comportându-se ca unul și același element chimic.

În plus, aceste metode oferă avantajul că cu ajutorul detectoarelor de radiații măsurarea se poate face de la o oarecare distanță și în mod continuu. În funcție de natura, energia și intensitatea lor, fasciculele de radiații pot străbate distanțe mai mari sau mai mici, trecând chiar prin diverse corpuri. În acest fel, folosirea trasorilor radioactivi permite studierea și controlul unor procese de la distanță, chiar când acestea se petrec în vase sau încăperi închise, în locuri inaccesibile sau în care pătrunderea cu alte mijloace de investigație ar tulbura procesul de cercetat.

O altă categorie de metode cu izotopi radioactivi se bazează pe folosirea radiațiilor nucleare, independent de natura izotopului radioactiv. Principiul acestora se bazează pe procesele de interacțiune ale radiațiilor nucleare cu materialul străbătut. Din modul sau din intensitatea procesului de interacțiune se deduc anumite caracteristici ale materialului. De exemplu, din modul în care sînt absorbite radiațiile se pot deduce mărimile golurilor într-un material dat, adică ceea ce numim „defecte”, rămase fie la sudură, fie la turnare. Defectoscopia, adică punerea în evidență a defectelor, folosește radiații  $\gamma$ , care sînt cele mai pătrunzătoare radiații. Radiațiile folosite străbat piesa de cercetat și impresionează o placă fotografică. Imaginea obținută prin dezvoltare permite detectarea prezenței eventualelor defecte ascunse în interiorul piesei, ca, de exemplu, imperfecțiuni la sudură, goluri și porozități la piese turnate etc.

De asemenea, absorbția radiațiilor într-o piesă constituie o măsură a grosimii sale. Măsurînd intensitatea radiațiilor după ce acestea au străbătut o placă, se poate determina grosimea plăcii respective. Pentru asemenea



scopuri se folosesc radiații  $\beta$ , dacă se măsoară grosimi de materiale ușoare (lemn, hirtie etc.), sau radiații  $\gamma$ , dacă se măsoară grosimi de materiale grele (de exemplu metalele).

Tot pe absorbția radiațiilor se bazează determinarea nivelelor în recipiente închise pentru lichide. Radiațiile  $\gamma$  emise de o sursă exterioară sau interioară recipientului străbat recipientul și sînt absorbite mai mult sau mai puțin, în funcție de cantitatea de lichid care se găsește în interior. Prin măsurarea intensității radiațiilor se poate determina cantitatea de lichid conținută în recipient.

O altă proprietate a radiațiilor folosită în această categorie de metode este împrăștierea lor. La străbaterea unui material, prin ciocnire cu atomii mediului respectiv, un fascicul de radiații își micșorează intensitatea, deoarece unele din particule sînt scoase din fascicul. Cînd o particulă este scoasă din fascicul prin pierderea completă a energiei, se spune că particula a fost absorbită. Dar se mai poate întîmpla ca o particulă să fie deviată din drumul ei și să pornească, după interacțiune, în altă direcție. Prin urmare, fără a-și fi pierdut energia sa, particula este scoasă din fascicul. Aceste radiații deviate se numesc radiații împrăștiate, iar fenomenul de împrăștiere depinde de anumite proprietăți ale mediului respectiv, proprietăți care pot fi astfel determinate. De exemplu, gradul de compactare al materialului provoacă o împrăștiere mai mare sau mai mică a radiațiilor  $\gamma$ . Ca urmare, măsurînd radiația  $\gamma$  împrăștiată, se poate determina gradul de compactare al unui material. În cazul neutronilor, împrăștierea depinde de conținutul de hidrogen al mediului. Ca atare se poate determina concentrația substanțelor cu hidrogen (apa, asfaltul, parafina etc.) în alte medii prin măsurarea împrăștierii neutronilor.

În sfîrșit, în această categorie a metodelor cu radioizotopi trebuie amintită și posibilitatea de a obține modificări chimice în substanțele supuse iradierii cu radiații nucleare. Este vorba în acest caz nu de interacțiunea radiațiilor la nivelul nucleului atomic, ci de acțiunea radiațiilor asupra legăturilor dintre atomii care intră în alcătuirea moleculelor diverșilor compuși chimici. Prin iradierea cu radiații  $\beta$  sau  $\gamma$ , o serie de substanțe, în special polimeri — a căror întrebuintare se extinde neîncetat —, dobîndesc proprietăți noi și foarte utile, ca, de exemplu, o mai bună rezistență mecanică sau o rezistență sporită la temperaturi ridicate. Iradierea este folosită și în procesul de producție a acestei clase foarte importante de substanțe; datorită acțiunii radiațiilor  $\gamma$ , procesul de polimerizare decurge în condiții mai lesnicioase, putîndu-se renunța în unele cazuri la temperaturile și presiunile ridicate folosite pînă acum. De asemenea este posibilă economia de catalizatori scumpi (platină, vanadiu).

De asemenea trebuie menționat că toate ramurile industriale beneficiază de pe urma introducerii acestor metode. Numeroase procese tehnologice pot fi controlate și automatizate cu ajutorul izotopilor radioactivi. Se poate afirma fără exagerare, că domeniul de aplicabilitate a izotopilor radioactivi în producție este nemărginit. Economii rezultate sînt foarte importante și în continuă creștere.



## APLICAREA RADIOIZOTOPILOR ÎN DIFERITE RAMURI ALE ECONOMIEI NOASTRE NAȚIONALE

**Izotopii radioactivi în prospectarea și extracția țițeiului.** Prin prospectare, petroliștii caută să determine cât mai precis posibil zonele în care se găsesc zăcămintele de țiței și gaze naturale. Pentru găsirea zăcămintelor de țiței este nevoie de o cercetare complexă a straturilor respective din punct de vedere geologic. Această cercetare privește vechimea straturilor, natura lor după adâncimi, neregularitățile în așezarea straturilor și altele. Printre aceste date ajutoare, de mare însemnătate, este și radioactivitatea straturilor, adică prezența unor izotopi radioactivi. Atât radioactivitatea naturală, cât și cea artificială sînt de mare importanță pentru prospectarea zăcămintelor de țiței.

Pentru măsurarea radioactivității straturilor subterane străbătute de o sondă se coboară aparate de investigație în gaura de sondă cu ajutorul unui cablu și se înregistrează semnalele transmise de acestea prin cablu la suprafață.

Rezultatul acestor înregistrări, prezentat sub forma unei curbe pe hîrtie, se numește diagramă. Ansamblul acestor metode de cercetare geofizică a straturilor se numește diagrafie nucleară, sau, cu un termen mai vechi, carotaj radioactiv. Există și o diagrafie clasică, neradioactivă (carotaj neradioactiv), bazată pe metode mecanice, electrice etc. Este greu ca dintr-o singură diagramă să se stabilească structura geologică uneori destul de complexă, a straturilor străbătute de sondă. Diagrafia nucleară trebuie corelată cu diagrafia electrică, mecanică etc. pentru a obține indicații precise asupra zăcămintelor de țiței.

Prin urmare, în diagrafia nucleară avem de-a face cu un aparat de fund în care se găsesc detectori de radiații și un autolaborator, montat pe un camion, care înregistrează diagrama, așa cum se vede în figura 5. Dacă se înregistrează numai intensitatea radiațiilor gamma emise de izotopii radioactivi naturali, avem de-a face cu diagrafia gamma sau carotajul gamma. Această metodă este, într-un anumit sens, o metodă pasivă, deoarece se înregistrează radia-

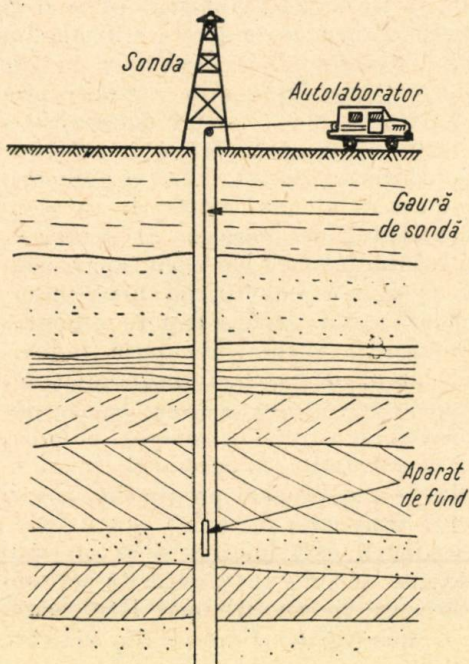


Fig. 5. Principiul diagrafiei nucleare.

diției și un autolaborator, montat pe un camion, care înregistrează diagrama, așa cum se vede în figura 5. Dacă se înregistrează numai intensitatea radiațiilor gamma emise de izotopii radioactivi naturali, avem de-a face cu diagrafia gamma sau carotajul gamma. Această metodă este, într-un anumit sens, o metodă pasivă, deoarece se înregistrează radia-



țiile unor substanțe care se găsesc deja în roci. Există și metode active, în care se înregistrează o radioactivitate provocată. De exemplu aparatul de fund poate purta o sursă de neutroni formată cu ajutorul unui izotop radioactiv al radiului sau al poloniului. Neutronii emiși de această sursă iradiază atomii substanțelor din roci și provoacă la unele elemente izotopi radioactivi artificiali. Acești izotopi radioactivi emit radiații  $\gamma$ , care sînt înregistrate de detectoarele de radiații plasate în aparatul de fund. Aceasta este diagrapia neutron-gamma sau carotajul neutron-gamma. În afara producerii izotopilor radioactivi artificiali, la iradierea cu neutroni poate avea loc și împrăștierea neutronilor prin ciocnirea lor cu atomii mediului străbătut. Neutronii deviați pot nimeri aparatul de fund și, dacă acesta este prevăzut cu detectori pentru neutroni, are loc înregistrarea neutronilor împrăștiați. Aceasta este diagrapia neutron-neutron sau carotajul neutron-neutron, care arată, prin intensitatea neutronilor împrăștiați, prezența substanțelor cu hidrogen (apă și hidrocarburi) în stratele străbătute de gaura de sondă.

Pentru prospectarea stratelor subterane este necesară forarea găurilor de sondă. Și în foraj izotopii radioactivi ne dau un ajutor prețios. Astfel, pentru aflarea zonelor în care se pierde noroiul în timpul forajului „se marchează” cu izotopi radioactivi o cantitate oarecare de noroi. Introdus în gaura sondei, o parte din acest noroi pătrunde în zona de pierdere și iese din circuitul normal, rămînînd în această zonă. După spălarea găurii de sondă se efectuează carotajul gamma, care arată o creștere a radioactivității în dreptul stratului care a absorbit noroiul marcat. O dată pusă în evidență, zona de pierdere poate fi închisă prin cimentări sau alte operații corespunzătoare.

La extracția țițeiului poate apărea uneori, în sonde, apă în loc de țiței. O metodă cu izotopi radioactivi permite determinarea poziției stratelor care conțin apă și a celor care conțin țiței, problemă de mare importanță în vederea evitării sau opririi infiltrării apei la unele sonde petroliere. Metoda constă în introducerea în zona cercetată a naftenatului de sodiu marcat cu izotopul radioactiv al sodiului (sodiu-24). Această substanță pătrunde numai în stratul petrolifer, întrucît pătrunderea în stratul acvifer este împiedicată de producerea unor reacții chimice. Este interesant de remarcat că, în același timp, naftenatul de sodiu, prin reacțiile chimice pe care le produce în contact cu apa, astupă porii stratelor prin care pătrunde apa în sondă. Ca urmare, procentul de apă poate scădea de la 70 pînă la 1—2%.

În afara exemplelor citate, în schelele petroliere din țara noastră s-au mai efectuat și alte lucrări cu izotopi radioactivi, lucrări cu caracter experimental sau de producție. Alături de diagrapia nucleară, lucrările de acest gen se execută curent și se ajunge la 200—300 de asemenea operații anual. Întreprinderea de carotaj și perforare din Ploiești a Ministerului Industriei Petrolului și Chimiei a început, în colaborare cu Institutul de fizică atomică, să folosească încă din 1957 diagrapia nucleară și trasorii radioactivi. Astăzi, fiind dotată cu numeroase autolaboratoare și cu un laborator model pentru lucrul cu radioizotopi, specialiștii întreprinderii reușesc să livreze patriei din ce în ce mai mult țiței. Întreprinderea de carotaj și perforare este cel mai mare consumator de izotopi radioactivi produși la reactorul nuclear al Institutului de fizică atomică.



**Folosirea izotopilor radioactivi în hidrologie.** În hidrologie, cercetătorii din țara noastră au fost interesați să cunoască direcția și viteza de scurgere a apelor subterane sau a apelor de suprafață care în anumite regiuni dispar pentru a deveni ape subterane. Pentru aceasta se execută foraje în regiunea în care urmează să se studieze modul de curgere a apelor subterane. Adâncimea forajelor corespunde adâncimii pânzei de apă subterană. Printr-unul din foraje se introduce tubul de injecție prin care soluția marcată cu un anumit izotop radioactiv pătrunde în pânza de apă. Alegerea izotopului radioactiv depinde de natura chimică a substanțelor din stratele străbătute de apa subterană. Izotopul radioactiv trebuie astfel ales, încât să nu fie reținut de substanțele chimice din sol; pentru aceasta se folosesc izotopii radioactivi ai bromului sau ai lantanului. Trasorul radioactiv este antrenat de apa subterană și poate fi detectat de un detector de radiații plasat în tubul de detectare. Se fac mai multe tuburi de detectare, pînă la adâncimea pânzei de apă, în diferite direcții și la diferite distanțe de tubul de injecție. După cîteva încercări preliminare din care se deduce direcția aproximativă de curgere, se mărește numărul tuburilor de detectare în regiunea spre care curge apa subterană. Tubul de detectare pentru care se obține maximum de intensitate al radiațiilor emise de trasorul radioactiv este acela care indică direcția exactă de curgere, iar din timpul scurs între injecția soluției marcate și detectarea ei în tubul de detectare respectiv se poate determina viteza de circulație a apei subterane (fig. 6).

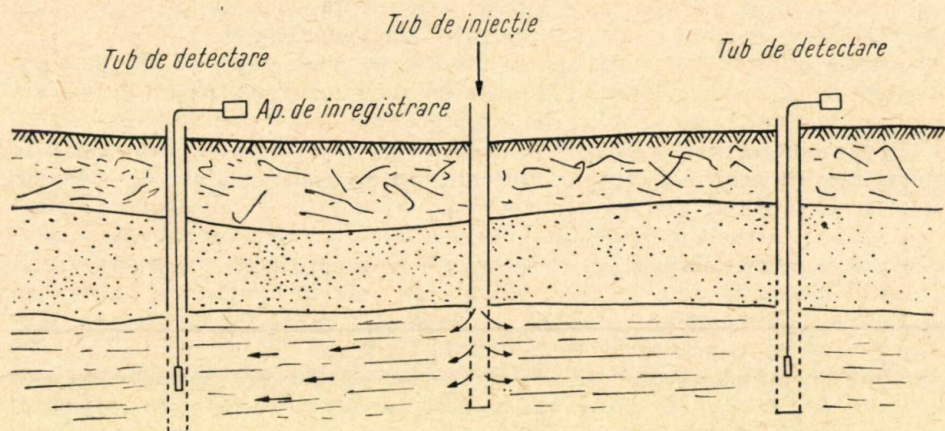


Fig. 6. Principiul determinării direcției și vitezei de curgere a apelor subterane.

În alte cazuri, hidrologii trebuiau să determine existența unor infiltrații de apă pe sub fundația unor baraje sau a altor lucrări hidrotehnice. Această lucrare se aseamănă oarecum cu aceea prin care se determină direcția și viteza de circulație a apelor subterane. Și anume se introduce în amonte construcției la care se bănuiesc fisuri în fundație un trasor radioactiv. Apoi se caută, cu



ajutorul mai multor „foraje” executate în aval, locul unde apare trasorul radioactiv, aceste „foraje” fiind găuri de mică adâncime practicate pe lângă fundația construcției. Important de precizat atît în acest caz, cît și în cel anterior este că metodele cu radioizotopi sînt avantajoase față de cele clasice în anumite soluri. De exemplu, soluția clasică prevedea folosirea unei substanțe,

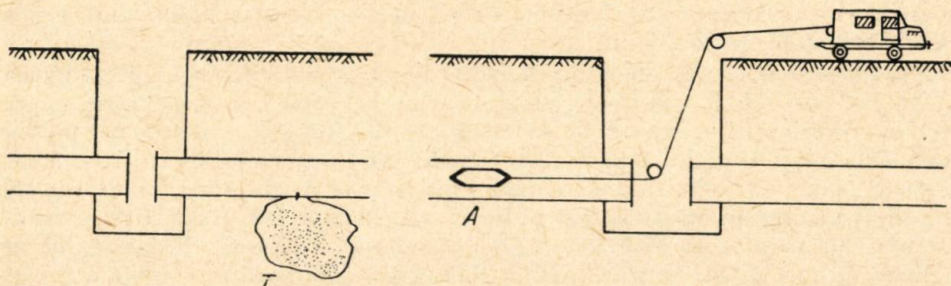


Fig. 7. Principiul detectării pierderilor de lichid din conducte.

fluoresceina, care provoacă o intensă colorare a apei. Or, întrebuintarea fluoresceinei este contraindicată în solurile care o rețin. Asemenea soluri se găsesc și în țara noastră, și în aceste cazuri sînt de recomandat metodele cu izotopi radioactivi.

Pentru a încheia acest capitol trebuie menționat și detectarea pierderilor de lichide la conductele magistrale. De obicei, asemenea conducte sînt divizate în tronsoane de 500—1 500 m, ale căror capete sînt accesibile prin cămine de vizitare. În aceste cămine conducta se secționează și se introduce în fiecare tronson soluția radioactivă, care se menține 24 h la o presiune de 8—10 atm. Prin această operație, apa cu trasorul radioactiv se scurge prin fisură. Întrucît de astă dată se alege un izotop radioactiv care este reținut de solul înconjurător conductei, se formează în imediata vecinătate a conductei o concentrare a trasorului radioactiv. Ulterior conducta se spală și se trage prin ea un aparat înregistrator care localizează fisura. În figura 7 se observă aparatul de înregistrare A și locul unde s-a concentrat trasorul radioactiv T. În acest fel se poate înfăptui repararea conductei fără dezgroparea ei completă și căutarea fisurilor.

Metodele cu izotopi radioactivi descrise au fost elaborate și utilizate de Institutul de fizică atomică, Institutul de cercetări și studii hidrotehnice și de Institutul de cercetări și studii energetice. Aparatura realizată cu această ocazie va permite folosirea acestor metode în investigațiile hidrologice din țara noastră.

### **Izotopii radioactivi în mecanizarea și automatizarea industriei chimice.**

Industria chimică a țării noastre a crescut considerabil în anii puterii populare. Noile unități industriale, proiectate în țară sau peste hotare, se caracterizează printr-o concepție modernă. La baza acestei concepții stă mecanizarea și auto-



matizarea proceselor de producție, care se face în bună parte cu ajutorul izotopilor radioactivi. Aparatele bazate pe folosirea izotopilor radioactivi servesc la măsurarea continuă a grosimilor, a densităților diverselor materiale sau fabricate, a nivelului în recipiente și rezervoare, a debitului fluidelor, fără ca procesul în producție să fie întrerupt.

Operația care se execută cu izotopi radioactivi în zeci de locuri în țara noastră este urmărirea nivelului în vase închise, operație în care nu se pot folosi metodele clasice.

Iată, de exemplu, bazinele de răcire și buncărele de semicocs de la Uzina „Victoria” din Călan. Sursele radioactive de cobalt-60 emit radiații  $\gamma$  care străbat recipientul și ajung la detectoarele de radiații, așezați de partea cealaltă a bazinului și a buncărului (fig. 8). Dacă fasciculul de radiații întâlnește în calea lui semicocul, atunci radiațiile sînt absorbite și detectorul de radiații primește foarte puține radiații sau chiar de loc. Dacă nivelul semicocsului nu a ajuns la locul unde recipientul este traversat de fasciculul de radiații, atunci detectorul de radiații măsoară o intensitate maximă a radia-

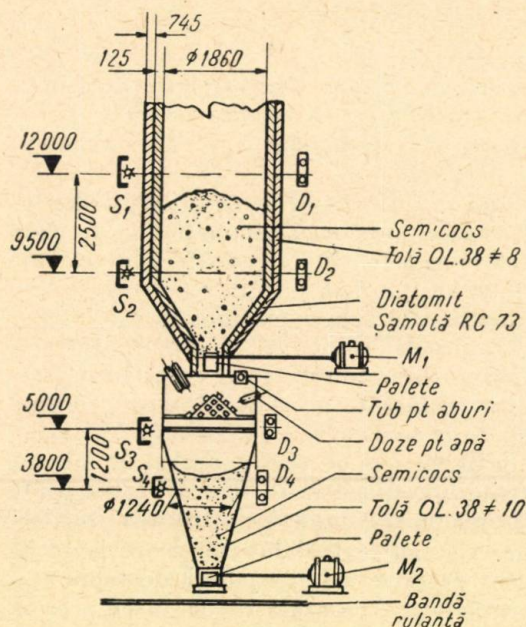


Fig. 8. Urmărirea nivelului în vase închise, cu ajutorul izotopilor radioactivi.

$S_1, S_2, S_3, S_4$  — surse de radiații;  $M_1, M_2$  — motoare cu palete.

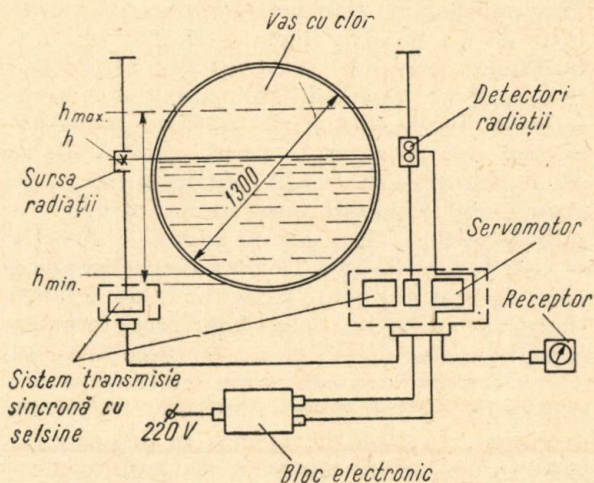
țiilor  $\gamma$ . Aparatura este astfel reglată, încît detectorul de la partea superioară oprește umplerea recipientului cînd nivelul semicocsului a ajuns la înălțimea respectivă, iar detectorul de la partea inferioară oprește golirea recipientului cînd nivelul semicocsului a ajuns atît de jos. Datorită temperaturii mari a semicocsului (500—600°C), numai nivelmetrele cu izotopi radioactivi pot fi



aplicate în acest caz. Institutul de proiectări metalurgice a prevăzut pentru toate bateriile de semiconductoare de la Călan asemenea instalații, fabricate la Institutul de fizică atomică.

Un alt exemplu este acela al rezervoarelor cu clor lichid. Sursa radioactivă este purtată de un flotor în interiorul recipientului sau se deplasează pe verticală, în exteriorul recipientului. Detectorul de radiații se poate deplasa

Fig. 9. Urmărirea nivelului în rezervoarele cu clor lichid.



pe o tijă verticală în exteriorul recipientului (fig. 9). Aparatura este în așa fel construită, încât detectorul de radiații se deplasează în sus și în jos, „căutând” înălțimea la care se găsește sursa de radiații, deci nivelul clorului din bazin. Această mișcare a detectorului, printr-un mecanism adecvat, se transmite la un tablou de comandă care arată direct nivelul clorului din recipient. În plus, mecanismul acestei aparaturi poate comanda umplerea și golirea rezervorului. Asemenea instalații sînt folosite la rafinările Ministerului Industriei Petrolului și Chimiei.

Instalații de nivel de acest tip, în număr de peste 100, funcționează la fabricile de îngrășăminte, la uzinele sodice, ca și la fabricile de sticlă. Pe baza lor s-a obținut o anumită mecanizare a procesului tehnologic, iar inginerii proiectanți de la Institutul de proiectări chimice sau chimiștii cercetători de la Institutul de cercetări chimice se străduiesc să determine o creștere a mecanizării și a automatizării în aceste unități industriale.

**Folosirea izotopilor radioactivi în siderurgie.** Siderurgia, baza industriei grele, are nevoie de un progres tehnic continuu pentru a face față cerințelor din ce în ce mai mari ale planurilor de dezvoltare a economiei noastre socialiste. Ca urmare, folosirea metodelor moderne trebuie să ridice productivitatea fiecărei faze a proceselor tehnologice specifice siderurgiei. Și în țara noastră au



început cercetările în vederea aplicării metodelor cu izotopi radioactivi în siderurgie, avînd ca scop înlesnirea automatizării unor procese tehnologice, îmbunătățirea calității produselor și reducerea prețului de cost.

În cele ce urmează vom analiza două metode cu izotopi radioactivi: una în elaborarea fontei și alta în elaborarea oțelului.

Fonta, produsul siderurgic de bază, se elaborează în furnal, numit și cuptor înalt. Furnalul este un agregat complex cu o capacitate de sute de metri cubi. Funcționarea lui este neîntreruptă, cel puțin pentru perioade de cîțiva ani între două reparații. Reparațiile constau, în principal, în rezidirea căptușelii furnalului, care este construit din cărămidă refractară. Cărămida refractară se uzează cu timpul și neînlocuirea ei la vreme poate da naștere la accidente serioase. Pe de altă parte, oprirea prematură a furnalului, cînd reparațiile nu sînt încă necesare, este neeconomică. De aceea determinarea exactă a gradului de uzură a căptușelii furnalului este de mare importanță. Pentru aceasta, atunci cînd se zidește furnalul, se introduc din loc în loc în interiorul căptușelii de cărămidă capsule cu izotopi radioactivi (de obicei cobalt-60) așa cum se vede în figurile 10 și 11. Supravegherea procesului de uzură în timpul funcționării agregatului poate fi făcută în două feluri. În prima variantă, o serie de contori de radiații instalați împrejurul furnalului înregistrează radioactivitatea capsulelor care se găsesc în căptușeală. O scădere bruscă a indicației unuia dintre contori înseamnă că una dintre capsule a căzut în furnal datorită uzurii căptușelii. În a doua variantă se înregistrează radioactivitatea fontei produse de furnal. În acest caz, o creștere bruscă a radioactivității fontei este o indicație că una dintre capsule a căzut din căptușeală. Ținînd o evidență a rezultatelor date de una sau de ambele variante de măsurare, se poate cunoaște în orice moment progresarea uzurii căptușelii și se pot lua hotărîri în cunoștință de cauză.

Agregatele în care se elaborează oțelul sau acelea în care se toarnă oțelul topit sînt căptușite cu materiale refractare. Se poate întîmpla ca porțiuni mici din aceste materiale să se desprindă și să treacă în oțel, dînd naștere așa-ziselor incluziuni nemetalice. Prezența acestora în oțel are o influență dăunătoare, micșorînd rezistența oțelului la șocuri, la uzură, la solicitări repetate etc. Este important să se cunoască sursa acestora, ca să se poată lua măsuri de combatere a eroziunii căptușelii. Metoda cu izotopi radioactivi preconizează ca în masa refractară din care se face căptușeala unui anumit agregat să se introducă un izotop radioactiv; se folosește în acest caz calciu-40. Din oțelul care a trecut prin agregatul respectiv se iau probe, se separă sau se identifică incluziunile nemetalice și se determină radioactivitatea acestora. Marcînd pe rînd căptușelile diverselor agregate, se poate determina care sînt acelea care contribuie la impurificarea oțelului cu incluziuni. În același mod se poate studia și calitatea unor materiale refractare, preferîndu-le pe acelea care introduc în oțel cantitatea minimă de incluziuni nemetalice.

Asemenea cercetări au fost întreprinse de Institutul de fizică atomică și Institutul de cercetări metalurgice, împreună cu laboratorul Combinatului siderurgic Hunedoara, și ele au fost aplicate atît la Hunedoara, cît și la Reșița.



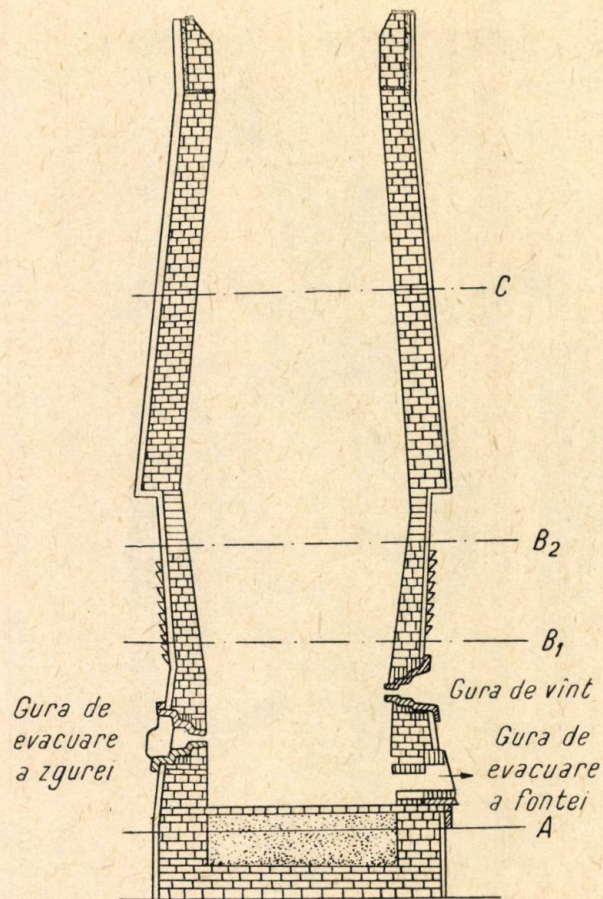


Fig. 10. Zonele marcate cu izotopi radioactivi în furnal.  
A — creuzet; B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> — etalaj; C — cuvă.

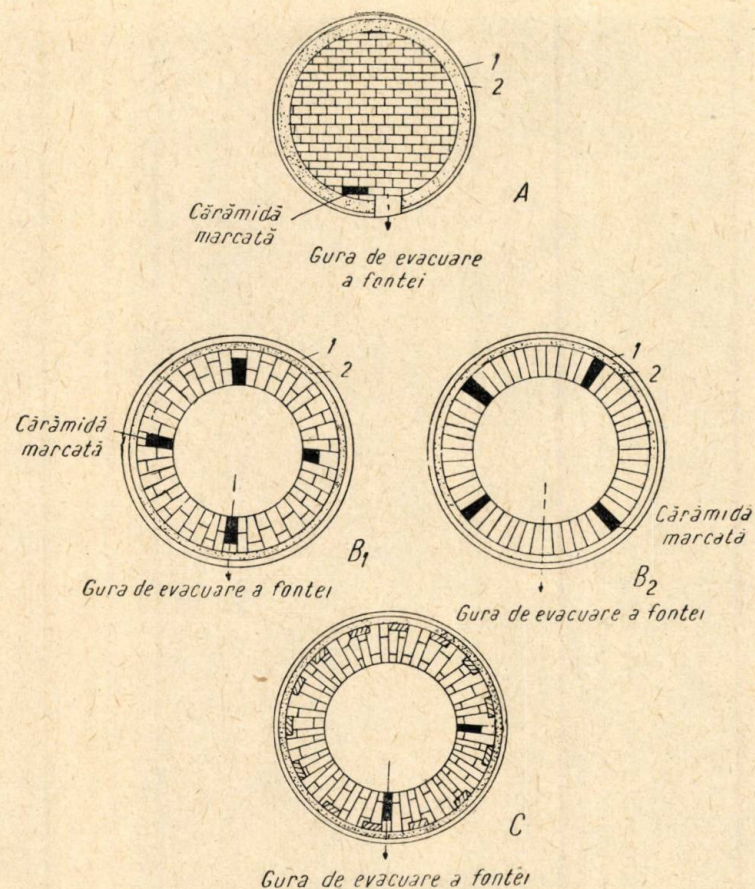


Fig. 11. Pozițiile cărămizilor marcate, în diferitele zone ale furnalului.  
A, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, C — au aceleași semnificații ca la fig. 10; 1 — blindaj de oțel; 2 — masă carbonică.



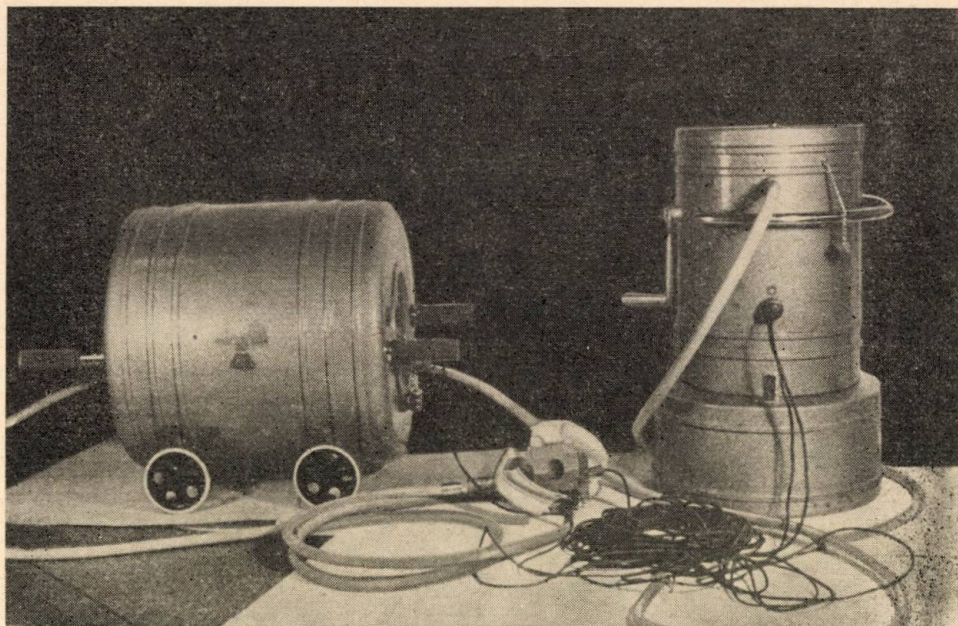


Fig. 12. Instalație pentru radiografie industrială, cu cobalt-60.

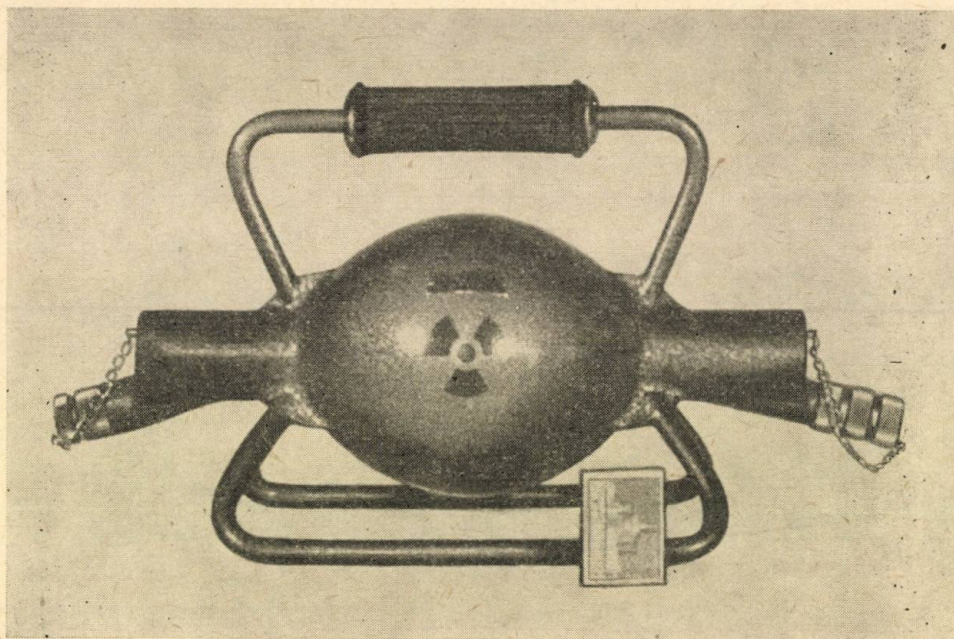


Fig. 13. Instalație pentru radiografie industrială, cu iridiu-192.



**Folosirea izotopilor radioactivi în construcția de mașini.** Printre metodele cu izotopi radioactivi folosite în construcția de mașini ne vom opri asupra controlului radiografic cu radiații  $\gamma$ , așa-numita gammagrafie sau defectoscopie-gamma, care reprezintă cea mai importantă aplicație a izotopilor radioactivi în industrie.

Controlul radiografic se aplică în general atât pieselor finite cât și semifabricatelor. De exemplu, se cercetează prin radiografiere dacă piesele turnate au goluri, fisuri sau incluziuni, dacă cusăturile prin sudură sînt continue și solide. Piesele care prezintă defecte sînt eliminate din procesul tehnologic pentru a nu se irosi munca cu prelucrarea lor mai departe.

În principiu, radiografia cu radiații  $\gamma$  constă în străbaterea piesei de cercetat de către radiațiile  $\gamma$ . La ieșirea din piesă, radiațiile  $\gamma$  impresionează o placă fotografică. Imaginea obținută prin dezvoltare permite detectarea defectelor ascunse în interiorul piesei, rămase de la sudură sau turnare. Radiografia-gamma folosește mai multe tipuri de izotopi: cobaltul-60, iridiul-192, cesiul-137 și alții, în funcție de grosimea pieselor cercetate.

Avantajele acestei metode față de controlul radiografic cu radiații Roentgen constă în faptul că aparatele sînt mai simple și mai ușor transportabile, nu consumă energie electrică, permit controlul unor piese mai groase și simultan a mai multor piese.

Ținînd seama de acești parametri, la Institutul de fizică atomică s-a realizat un tip de instalație pentru radiografia industrială, care poate lucra fie cu cobalt-60 (fig. 12), fie cu iridiu-192 (fig. 13) și poate fi manipulată de la distanță. Multiplicată în serie, această instalație lucrează azi în întreprinderi ale Ministerului Metalurgiei și Construcției de Mașini, ale Ministerului Transporturilor și Telecomunicațiilor, ale Ministerului Industriei Construcțiilor și Materialelor de Construcții și ale Ministerului Industriei Petrolului și Chimiei.

**Aplicarea radioizotopilor în industria construcțiilor.** Ca și în celelalte ramuri ale industriei noastre, metodele cu izotopi radioactivi și-au spus cuvîntul și au ajuns la o răspîndire foarte mare și în industria construcțiilor.

La fundațiile construcțiilor mari industriale, la construcția barajelor, la turnarea prefabricatelor din beton, gradul de compactare al materialelor respective (suportul fundației, pămînt sau nisip, loess, beton etc.) este foarte important pentru realizarea în bune condiții a întregii construcții. Metoda cu izotopi radioactivi pentru determinarea gradului de compactare al unui material se bazează pe împrăștierea radiațiilor  $\gamma$ . Așa cum se vede în figura 14, o sursă de cesiu-137 emite radiații  $\gamma$ , iar acestea sînt împrăștiate în materialul de cercetat [ele sînt deviate de la direcția lor inițială]. O parte a radiațiilor împrăștiate ajung la cele trei detectoare, și pe aparatul de citire directă se poate citi intensitatea radiației împrăștiate, care depinde de gradul de compactare al materialului.



Instalația realizată la Institutul de fizică atomică este portabilă, alimentată la baterie și a servit la elaborarea soluțiilor de fundații pentru Combinatul siderurgic Galați, la studiul compactării la barajele de pământ (întreprins de Institutul de cercetări și studii energetice) sau la studiul diferitelor con-

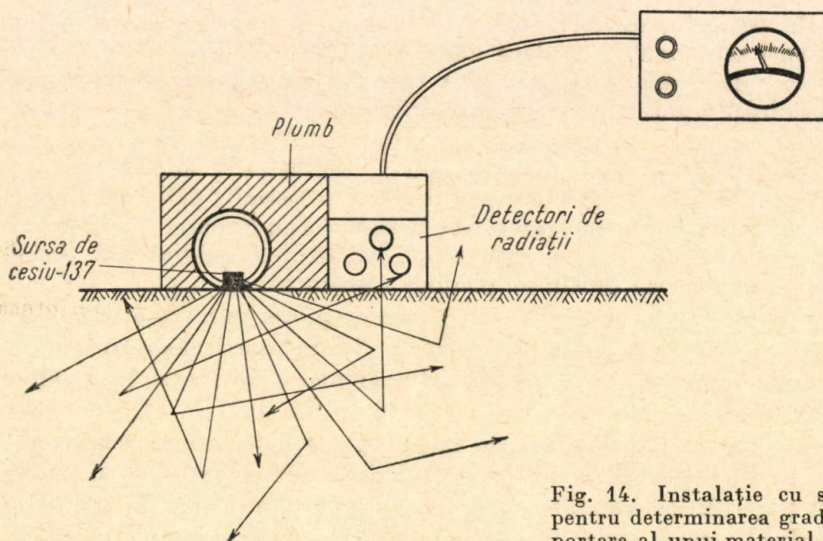


Fig. 14. Instalație cu sursă de Cs, pentru determinarea gradului de comportare al unui material.

strucții hidrotehnice (întreprinse de Institutul de cercetări și studii hidrotehnice).

Conținutul de apă în sol, în ciment, în beton sau conținutul de asfalt în betoanele asfaltice poate fi determinat cu ajutorul unei metode nucleare. Instalația, a cărei schemă este dată în figura 15, folosește o sursă de neutroni constituită cu ajutorul unui izotop radioactiv (radiu sau poloniu). Neutronii emiși străbat materialul pe care este așezată instalația, dar prin ciocnirea cu atomii de hidrogen conținuți în apă și în hidrocarburile asfaltului sînt împrăștiați. O parte din neutronii împrăștiați ajung la detectoarele pentru neutroni și sînt înregistrați de un aparat electronic alimentat la baterie. Indicațiile acestui aparat dau astfel procentul de apă din materialul studiat sau procentul de asfalt din betonul asfaltic. Ecranul pentru neutroni protejează personalul operator împotriva acțiunii dăunătoare a neutronilor și, în plus, împiedică neutronii să ajungă direct la detectoarele de neutroni și să falsifice astfel rezultatele.

Această instalație este folosită, ca și cea precedentă, la alegerea soluțiilor de fundații pentru construcțiile Combinatului siderurgic Galați, deoarece



compactarea loessului are nevoie de un anumit conținut de apă. Ea a fost folosită la Fabrica de ciment Medgidia pentru urmărirea conținutului de apă al pastei de ciment și de întreprinderile Ministerului Transporturilor și Telecomunicațiilor pentru urmărirea conținutului de apă în betoane sau de asfalt

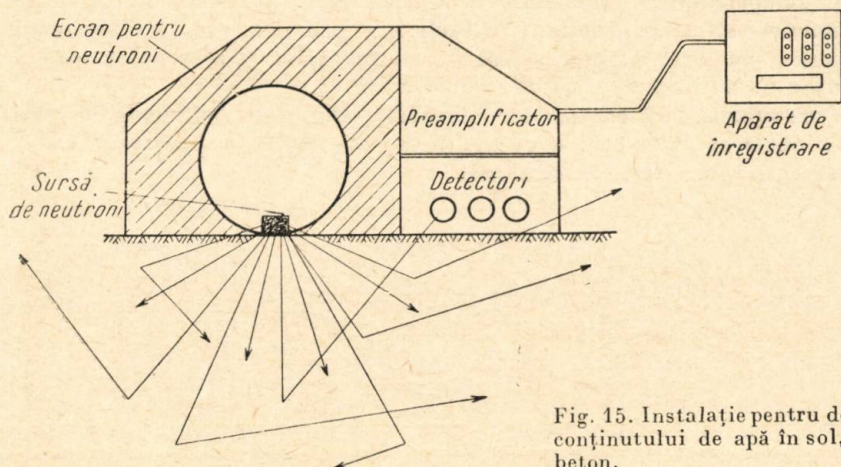


Fig. 15. Instalație pentru determinarea conținutului de apă în sol, ciment sau beton.

în betoane asfaltice. Studiile economice, care sînt în curs, vor arăta eficacitatea economică a metodelor cu izotopi radioactivi în industria construcțiilor.

Așa cum precizează aproape toate rapoartele diverselor țări la conferințele și congresele internaționale, și în țara noastră izotopii radioactivi sînt folosiți în prezent aproape în toate ramurile economiei naționale; totuși utilizarea practică a metodelor cu izotopi radioactivi este, de fapt, abia la început.

Importanța economică a folosirii izotopilor radioactivi în producție a fost subliniată și în documentele Congresului al III-lea al P.M.R. Realizările obținute în această direcție în țara noastră ca urmare a colaborării dintre institutele de cercetări și întreprinderi reprezintă numai primii pași pe calea utilizării depline a posibilităților oferite de tehnica nucleară. În ceea ce privește eficiența economică a metodelor bazate pe izotopii radioactivi, experiența acumulată în întreaga lume a demonstrat înalta lor rentabilitate. Eficiența economică ridicată a acestor metode se datorește mării productivității instalațiilor prin folosirea maximală a parametrilor lor de producție și prin evitarea unor greșeli de manevră și avarii, îmbunătățiri simțitoare a calității și a uniformității producției, reducerii consumului de materii prime și reducerii sau eliminării rebuturilor. Ca urmare, rezultă reducerea prețului de cost și creșterea rentabilității producției.



Metodele cu izotopi radioactivi se îmbină strîns cu automatizarea parțială sau integrală a producției, și în primul rînd cu automatizarea controlului tehnic.

Realizarea practică a posibilităților pe care le oferă metodele cu izotopi radioactivi cere însă continuarea efortului de colaborare între institutele de cercetări și întreprinderile industriale, materializate prin elaborarea de noi tipuri de aparate la cel mai înalt nivel tehnic și mai ales prin multiplicarea și generalizarea pe scara întregii industrii a aparatelor și metodelor puse la punct în stadiul de prototip sau de serie mică.

Dezvoltarea aplicațiilor pașnice ale metodelor elaborate pe baza descoperirilor fizicii nucleare va aduce o contribuție însemnată la progresul tehnic continuu al industriei noastre socialiste.



# Fuziunea termonucleară dirijată, perspective și realizări

---

**Ing. Dr. L. CIPLEA**

șef de serviciu Institutul de fizică atomică







## IMPORTANȚA FUZIUNII TERMONUCLEARE

Studiul reacțiilor nucleare a dus la concluzia că o clasă dintre ele, și anume reacțiile termonucleare, pe lângă faptul că joacă un rol extrem de important în evoluția cosmosului nemărginit, este chemată să joace un rol nu mai puțin important în evoluția viitoare a civilizației omenești.

Prin reacții termonucleare se înțeleg acele reacții nucleare care sînt inițiate și întreținute de agitația termică a nucleelor dintr-o plasmă cu o temperatură foarte mare. Prin aceste reacții se realizează în general o fuziune a nucleelor ușoare pentru a da naștere unor nuclee mai grele, lucru ce constituie în sine o sinteză a elementelor chimice mai grele, pornind chiar de la hidrogen. În această sinteză, sau mai bine zis serie de sinteze, cele mai importante etape sînt primele faze, în care se produce fuziunea hidrogenului și a izotopilor săi, deoarece în aceste reacții se degajă cantități enorme de energie.

În natură, energia degajată prin fuziunea hidrogenului întreține strălucirea stelelor în lungile perioade cosmice ale evoluției lor. Însuși firul existenței reacțiilor termonucleare a fost găsit căutîndu-se o explicație rațională pentru uriașele debite de energie stelară.

Reeditarea acestor tipuri de reacții termonucleare în laboratoare și instalații industriale terestre ar pune la îndemîna omenirii o sursă energetică extrem de valoroasă și mult mai bogată decît toate celelalte surse energetice cunoscute luate la un loc. Dacă astăzi dirijarea acestor reacții de fuziune termonucleară de către oameni este o problemă de prestigiu științific, în viitorul apropiat ea va reprezenta o chestiune vitală a întregii civilizații omenești.

Într-adevăr, se știe că dezvoltarea explozivă a civilizației moderne se bazează nu numai pe mașinism, ci și pe sursele energetice care țin în mișcare complexa mașinărie a acestei civilizații. Dovada poate fi luată din statisticile asupra consumurilor de energie în decursul secolelor. Astfel, dacă exprimăm energia consumată de întreaga omenire în unități  $Q$  (echivalente cu  $1,05 \cdot 10^{21} \text{ v}$ ), atunci, de unde consumul mondial total pînă în 1850 a fost aproximativ de 6—9  $Q$ , într-un singur secol (din 1850 pînă în 1950) s-au consumat deja 4  $Q$ . Pentru următoarea jumătate de secol s-a prevăzut un consum de 20  $Q$ , iar în jumătatea de secol care va urma după aceea (2000—2050) se vor consuma aproximativ 75  $Q$ . Aceasta înseamnă că acest consum energetic crește foarte mult o dată cu creșterea populației și cu evoluția civilizației.

După alți autori, această creștere a consumului de energie este mult mai accentuată. Astfel, dacă la ora actuală consumul de energie reprezintă o putere instalată de  $10^{12} \text{ W}$ , creșterea ei reprezintă o dublare a puterii instalate la fiecare 10 ani, astfel că în 100 de ani se va ajunge la consumul unei puteri de aproximativ  $10^{15} \text{ W}$ . Ca să ne dăm seama de ceea ce înseamnă acest consum



energetic, este suficient să spunem că energia mareelor ar putea da maximum  $10^{12}$  W, iar captarea totală a energiei solare ar duce la un câștig de  $10^{16}$  W. Bineînțeles că această captare a energiei solare ar perturba profund condițiile biologice de pe Pământ și ar necesita acoperirea întregii sale suprafețe cu dispozitive de captare.

La o putere de  $10^{15}$  W, chiar energia dată de rezervele de combustibili nucleari fisili (uraniu și toriu) nu este suficientă decât pentru aproximativ 25 de ani. Având în vedere faptul că rezervele de energie ale combustibililor fosili sînt cam de 15 ori mai reduse decât cele ale combustibililor fisili, ne închipuim ușor că încă înainte de a ajunge la acest nivel al puterii instalate va fi necesar ca în economia energetică a planetei să intervină alte surse, mult mai puternice. Considerînd sursele energetice cunoscute la nivel cosmic, se ajunge imediat la concluzia că numai energia rezultată prin fuziunea nucleară ar putea acoperi necesitățile viitoare ale omenirii.

Pentru transpunerea fuziunii termonucleare stelare la nivelul unei soluții de laborator terestru trebuie să avem în vedere anumite particularități ale problemei.

În primul rînd trebuie să facem o comparație a debitelor energetice raportate la masa de combustibil. Astfel, în Soare debitul energetic al reacțiilor termonucleare de fuziune a hidrogenului este de doi ergi pe gram și pe secundă. Pentru condițiile terestre, acest debit este cu totul insuficient. Chiar arderile biochimice din organisme întrec cu cîteva ordine de mărime acest debit. Dacă, totuși, cu un debit energetic atît de scăzut Soarele își menține la suprafață o temperatură de  $5\,750^\circ\text{K}$ , pe cînd temperatura omului este de numai  $310^\circ\text{K}$  ( $37^\circ\text{C}$ ), cauza constă în faptul că în spatele fiecărui centimetru pătrat din suprafața Soarelui se află 33 000 t de masă care contribuie la energia radiată. Concluzia este că pentru a ridica debitul energetic al reacțiilor termonucleare la nivelul necesar la scara terestră este necesar să recurgem la un combustibil termonuclear mai activ decât cel din Soare și la temperaturi de reacție mai ridicate decât în Soare. De aceea în experiențele terestre se utilizează drept combustibil termonuclear nu hidrogenul simplu — proțiul —, ci izotopii săi — deuteriul și tritiul —, care au o viteză de reacție mai mare. De asemenea, în instalațiile termonucleare terestre se preconizează o temperatură de lucru mult mai ridicată decât cea existentă în centrul Soarelui ( $1,7 \cdot 10^7$  °K).

În al doilea rînd, trecerea la un alt combustibil decât hidrogenul normal impune o serie de complicații suplimentare. De exemplu, se știe că unul dintre acești izotopi, și anume tritiul, este radioactiv avînd o perioadă de înjumătățire de 12,1 ani și, ca atare, se află în cantități foarte mici în natură, numai ca urmare a acțiunii radiațiilor cosmice asupra azotului din atmosferă. De aceea în fuziunea termonucleară controlată s-ar putea utiliza doar tritiul de sinteză, lucru care ar scumpi mult energia rezultată. În schimb, deuteriul, deși este de 6 410 ori mai puțin abundent decât hidrogenul normal, se află totuși în cantități suficiente pe Pământ pentru a servi drept combustibil termonuclear de bază. Astfel, fiecare litru de apă este echivalent din punct de vedere energetic cu 300 l de benzină, deoarece prin reacția de fuziune a deuteriului conținut în el (aproximativ 40 mg) se obține tot atîta energie cît se obține prin



arderea celor 300 l de benzină. Avînd în vedere că pe Pămînt există aproximativ  $4,5 \cdot 10^{21}$  litri de apă de suprafață, energia dată de deuteriul din ea ar fi echivalentă cu aproximativ  $5 \cdot 10^{10}$  Q. Astfel, chiar cheltuind de mii de ori mai mult decît în prezent, rezerva energetică ar fi asigurată pentru multe milioane de ani. Pînă atunci se va putea afla o cale de a converti hidrogenul normal în heliu cu o viteză mai mare și vom dispune de încă o rezervă energetică de mii de ori mai mare decît cea care poate fi furnizată de deuteriu. Apoi nu trebuie să uităm că în corpurile din cosmos abundența hidrogenului normal, adică a proțiului, este mai mare decît pe Pămînt, fiind chiar cel mai răspîndit element din univers, astfel că putem conchide cu destulă siguranță că fuziunea termonucleară dirijată a hidrogenului și a izotopilor lui constituie cea mai sigură sursă energetică a viitorului. Stăpînirea ei va însemna pentru istoria civilizației omenești un punct de cotitură mai important decît descoperirea mașinii cu aburi sau cu ardere internă, care în curînd vor dispărea din lipsă de combustibili adecvați.

Față de modul de obținere a energiei nucleare prin fisiune, fuziunea termonucleară are următoarele avantaje:

- utilizează un combustibil mai răspîndit și mai ieftin decît materialele fisile;

- nu dă atîtea reziduuri radioactive, care pun probleme grele de evacuare și depozitare;

- nu prezintă pericol de explozie, deoarece fuziunea nu depinde critic de o anumită masă de combustibil acumulată în instalație.

Totuși, fisiunea nucleară a ajuns la realizarea controlată în fază-pilot la cîțiva ani după descoperirea fenomenului fundamental, pe cînd fuziunea termonucleară, cunoscută teoretic de peste 30 de ani, abia după 20 de ani a putut fi inițiată în mod necontrolat, iar dirijarea ei este și astăzi o problemă ce așteaptă o soluție practică.

Motivele acestei întîrzieri vor fi înțelese cercetînd mai îndeaproape particularitățile reacțiilor termonucleare.

## TEORIA ELEMENTARĂ A REACȚIILOR TERMONUCLEARE DIRIJATE

Pentru a se putea produce o reacție termonucleară este necesar ca agitația termică a ionilor din plasmă să fie suficient de puternică pentru ca energia lor cinetică să fie superioară energiei potențiale de respingere electrostatică între nucleele încărcate pozitiv. Energia de respingere este proporțională cu produsul sarcinilor electrice ale nucleelelor reactante. De aici se poate trage concluzia că reacțiile termonucleare ale izotopilor hidrogenului se vor produce mai ușor decît în cazul nucleelelor mai grele. Totuși, chiar pentru a iniția primele reacții termonucleare ce se pot produce, este necesară o temperatură foarte mare, de ordinul milioanele de grade, temperatură la care atomii sînt complet dezgoliți de învelișul lor electronic. În consecință, atît ionii pozitivi (nucleele),



cît și ionii negativi (electronii) au dimensiuni extrem de reduse, de ordinul a  $10^{-13}$  cm, ceea ce va face ca ciocnirile în plasmă, deci viteza de reacție termonucleară, să fie foarte redusă.

Raritatea ciocnirilor în plasmăle termonucleare ce ne interesează mai este condiționată și de faptul că în laborator se lucrează cu densități extrem de reduse ale amestecului termonuclear, fapt care mărește foarte mult drumul liber mijlociu dintre două ciocniri efective. Dacă nu s-ar lucra cu densități extrem de reduse, atunci presiunea care ar rezulta la temperaturile de zeci și sute de milioane de grade ale plasmei termonucleare ar fi insuportabilă pentru orice recipient de reacție imaginabil. Astfel, pentru o cantitate de hidrogen aflat inițial în condiții normale și apoi încălzit la 100 000 000 de grade la volum constant, presiunea va fi

$$P = (n^+ + n^-) kT = 9,6 \cdot 10^{19} \cdot 1,38 \cdot 10^{-8} = 1,33 \cdot 10^{12} \text{ dyn} \cdot \text{cm}^{-2},$$

adică aproximativ 1 350 000 atm. Generarea unei asemenea presiuni într-un gaz închis într-o incintă înseamnă o veritabilă explozie. De aceea trebuie să reducem densitatea de particule în instalațiile termonucleare la nivelul celor mai înaintate viduri obținute în laborator.

Ridicarea temperaturii pînă la nivelul necesar amorsării reacțiilor termonucleare mai are și alte urmări dezastruoase asupra bazei tehnice necesare la realizarea acestei temperaturi. Se știe că un corp negru încălzit emite radiații electromagnetice, a căror intensitate este proporțională cu puterea a patra a temperaturii, conform legii Stefan-Boltzmann:

$$I = \sigma T^4,$$

în care  $\sigma = 5,672 \cdot 10^{-5} \text{ erg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot ^\circ\text{C}^{-4} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Dacă am calcula cu această formulă energia disipată prin radiație de un centimetru pătrat din suprafața unui amestec termonuclear încălzit la 100 000 000°C, am ajunge la echivalentul unei puteri de  $10^{21}$ W, ceea ce este enorm. Din fericire, în plasmă emisiunea radiațiilor electromagnetice nu se face prin mecanismul excitației atomice, reprezentat de legea Stefan-Boltzmann, deoarece nu avem atomi, ci o plasmă complet ionizată. De aceea emisiunea se face prin mecanismul radiației de frînare, în care caz puterea disipată pe centimetru cub este dată de relația:

$$P = 0,48 \cdot 10^{-30} Z^2 n_e^2 T_e^{1/2} [\text{W} \cdot \text{cm}^{-3}],$$

în care  $Z$  este sarcina nucleului (în cazul hidrogenului și izotopilor săi  $Z = 1$ ),  $n_e$  este densitatea de electroni, iar  $T_e$  este temperatura electronilor plasmei. Se vede că în acest caz emisiunea de radiații crește numai cu rădăcina pătrată a temperaturii, nu cu puterea a patra.

Dar cele mai multe plasmă de interes termonuclear sînt încălzite și îngrădite cu ajutorul cîmpurilor magnetice. În acest caz ia naștere un nou mecanism



de disipare a energiei prin radiație electromagnetică în domeniul microundelor, și anume radiația ciclotronică, sau sincrotronică. Acest tip de radiație se mai numește radiație magnetică, deoarece este caracteristică pentru sarcinile electrice care se rotesc într-un câmp magnetic. Deci vom avea noi condiții restrictive în proiectarea și funcționarea instalațiilor termonucleare. Într-adevăr, pentru îngrădirea plasmelor la temperaturi ridicate este necesar un câmp magnetic puternic. Dar, în același timp, energia disipată prin mecanismul radiației magnetice este proporțională cu densitatea energiei magnetice pe unitatea de volum, ceea ce înseamnă că și această pierdere de energie va depinde de temperatura plasmelor.

Se vede deci că ridicarea temperaturii duce la o emisiune energetică radiantă din sistemul termonuclear, fără să mai amintim de scurgerea energiei prin pierderea neutronilor și a neutrinelor<sup>1</sup> rezultați din diferite reacții.

Mai rămâne apoi de rezolvat chestiunea pierderilor energetice prin conductibilitate termică, în special la contactul dintre masa reactantă și pereții recipientului de reacție. Această problemă este mult mai serioasă decât situațiile similare ce se prezintă în tehnica convențională. Într-adevăr, în cazul reacțiilor termonucleare nu putem vorbi despre recipiente formați din substanțe solide, așa cum suntem obișnuiți să ne închipuim recipientii de reacție chiar în cazul reacțiilor nucleare de fisiune. Plasma termonucleară este atât de fierbinte, încât orice substanță se volatilizează și chiar se ionizează în contact cu ea. De aceea, în esență, trebuie rezolvată nu numai problema pierderilor prin conductibilitate, ci și aceea a conținerii plasmelor termonucleare printr-o altă metodă decât aceea a recipientelor confecționați din substanțe solide.

Soluția a fost căutată în lumea efectelor electrice și magnetice, deoarece plasmelor reacționează la impulsuri electrice și magnetice, fiind constituite din particule libere încărcate electric. Efectele electrice se exclud, deoarece este imposibil de găsit o configurație de cîmpuri electrice care să îngrădească ambele tipuri de particule — încărcate pozitiv și, respectiv, negativ — în același timp. Tot ceea ce pot face cîmpurile electrice este o separare de sarcini în interiorul plasmelor, lucru nedorit, deoarece conduce la oscilații și instabilități ale acestor plasmelor.

Cîmpurile magnetice sînt mai potrivite pentru îngrădirea și chiar manipularea plasmelor. Posibilitatea stăpînirii plasmelor cu ajutorul cîmpurilor magnetice se bazează pe efectul fundamental de interacțiune electromagnetică, prezentat schematic în figura 1.

O particulă încărcată nu primește și nici nu pierde energie într-un cîmp magnetic constant, ci își modifică doar traiectoria în sensul că tinde să se rotească în jurul liniilor de forță ale cîmpului magnetic. Particulele de semn contrar se vor roti în sensuri inverse, dar vor rămîne totuși „legate” de o anumită linie de forță a cîmpului magnetic. Această lipire a particulelor plasmelor de liniile de forță ale cîmpurilor magnetice exterioare dă posibilitatea ca, modi-

<sup>1</sup> Neutrinul este o particulă neutră din punct de vedere electric și are masa (de repaus) egală cu zero.



ficind intensitatea cîmpului magnetic, deci geometria liniilor de forță, să fie antrenată și plasma în mișcarea corespunzătoare. În particular, plasma legată de liniile de forță ale unui cîmp magnetic rămîne „înghețată” pe aceste linii chiar cînd în jurul ei domnește un vid înaintat.

Ne putem ușor închipui că, datorită acestor efecte, plasma termonucleară poate fi îngredită, poate fi comprimată sau destinsă fără ajutorul unui recipient,

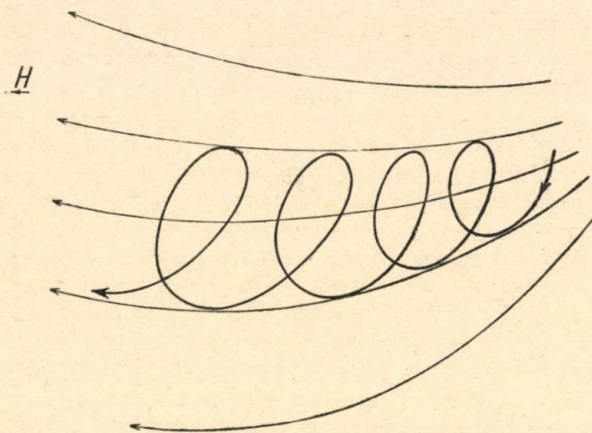


Fig. 1. Mișcarea particulei încărcate, într-un cîmp magnetic.

cu piston, ci numai prin acțiunea unui cîmp magnetic exterior, care nu are nimic de suferit din cauza temperaturii ridicate a plasmiei.

Bineînțeles că aceste efecte magnetice depind, pe de o parte, de temperatura și densitatea plasmiei, iar pe de altă parte de geometria și intensitatea cîmpului magnetic. Dependența de acești parametri este studiată în cadrul unei noi discipline științifice, magnetohidrodinamica, care are aplicații nu numai în domeniul fuziunii dirijate, ci și în astrofizică, în geofizică, la propulsia rachetelor cosmice etc.

Actualmente, marea majoritate a instalațiilor termonucleare se bazează pe efecte magnetohidrodinamice (capcane magnetice, efect de stricțiune, unde de șoc magnetohidrodinamice etc.). Întrucît magnetohidrodinamica s-a născut și a evoluat paralel cu cercetările legate de dirijarea reacțiilor termonucleare, nu e de mirare că foarte multe studii în instalațiile termonucleare au avut ca scop lămurirea efectelor magnetohidrodinamice, descoperite și aprofundate pentru prima oară cu această ocazie. De aceea, pentru clarificarea fenomenelor din plasmie termonucleară, a fost nevoie să se imagineze metode de cercetare noi și să se creeze o aparatură inedită. Putem spune chiar că s-a născut o nouă tehnică pentru „diagnoza” plasmiei.

În tabelul alăturat sînt enumerate cîteva din problemele referitoare la diagnoza plasmelor și tehnica prin care ele sînt rezolvate.



## Diagnoza plasmelor

| Problema cercetată                                             | Tehnica utilizată                                                        |
|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| Energia, viteza și temperatura ionilor                         | Spectroscopie de masă, plăci nucleare, efectul Doppler, calorimetrie     |
| Energia neutronilor                                            | Plăci nucleare, camere cu ceață                                          |
| Numărul neutronilor                                            | Activarea indiului sau argintului, contoare cu bor                       |
| Densitatea ionică                                              | Efectul Stark, sonde electrostatice, viteza undelor magnetohidrodinamice |
| Energia, viteza și temperatura electronilor                    | Spectroscopie, sonde electrostatice, intensitatea microundelor emise     |
| Densitatea electronică                                         | Transmisiunea și reflexia microundelor                                   |
| Cîmpul electric din plasmă                                     | Sonde magnetice, efectul Stark                                           |
| Cîmpul magnetic din plasmă                                     | Sonde magnetice, efectul Zeemann                                         |
| Presiunea plasmei                                              | Cristale piezoelectrice, sonde magnetice                                 |
| Localizarea și măsurarea intensității luminii emise din plasmă | Fotografie ultrarapidă                                                   |

Din acest tabel se poate vedea că studiile termonucleare nu sînt probleme chiar atît de simple și că o instalație termonucleară, pe lîngă aparatura tehnologică necesară producerii, încălzirii și îngrădirii plasmei, precum și extragerii energiei, mai necesită o aparatură de cercetare extrem de complicată. Aparatura respectivă este necesară nu numai în perioada studiilor preliminare, ci și în timpul funcționării instalației, ca mijloc de control și de reglare a ei.

## REALIZĂRI EXPERIMENTALE

Problema dirijării fuziunii termonucleare a început să fie studiată serios abia în preajma anului 1950, cu toate că de mai bine de 10 ani exista o oarecare documentare asupra teoriei reacțiilor termonucleare, în special a celor de interes astrofizic. De la început studiile de dirijare s-au axat pe mai multe direcții, care



păreau cele mai promițătoare. Date fiind tangențele problemei fuziunii termonucleare cu problemele legate de armamentul nuclear, la început lucrările au fost făcute în cel mai deplin secret în diferite țări.

Apariția în public a problemei fuziunii dirijate s-a făcut în preajma primei Conferințe internaționale asupra aplicațiilor pașnice ale energiei atomice de la Geneva din 1955. La această conferință, savantul indian Homi Bhabha a prezis că în 20 de ani se va ajunge la rezolvarea acestei probleme. În curând au apărut și primele rezultate experimentale. Astfel, în cadrul unei conferințe ținute la Harwell, savantul sovietic Igor Kurceatov a vorbit despre unele realizări din Uniunea Sovietică în domeniul fuziunii termonucleare.

Punctul culminant al desfășurării comunicărilor asupra lucrărilor în domeniul fuziunii termonucleare a fost marcat de a doua Conferință de la Geneva asupra aplicațiilor pașnice ale energiei atomice din 1958, la care delegații sovietici, americani, englezi, francezi etc. au prezentat foarte multe lucrări în acest domeniu. Cu această ocazie s-au scos la iveală nu numai succesele realizate, ci și greutățile care stau în fața dirijării efective a reacțiilor termonucleare. Deși după anul 1958 tonul general al lucrărilor în domeniul termonuclear a devenit mai rezervat, cercetarea continuă asiduu pentru a asalta metodic impedimentele care mai stau încă în cale.

În cele ce urmează se vor trece în revistă principalele direcții urmate în cercetarea fuziunii termonucleare dirijate. Ca termen de comparație se vor aminti la început și unele procedee de inițiere a reacțiilor termonucleare care nu se încadrează strict în condițiile unei reacții termonucleare dirijate, dar din prelucrarea cărora s-ar putea extrage date importante pentru rezolvarea problemei puse.

**Inițierea prin explozii.** Este singura metodă eficace cunoscută la ora actuală pentru a amorsa în mod efectiv reacțiile termonucleare la scară terestră. Îi lipsește însă elementul de control care ar putea să o facă aplicabilă și în alte scopuri decât cele militare (sau în unele scopuri pașnice cu totul excepționale). Astfel, inițierea prin explozii cu fisiune nucleară prezintă un prag minim al calibrului dispozitivului nuclear de inițiere, datorită masei critice necesare în reacția de fisiune în lanț. Ceea ce se poate controla în acest caz este numai energia totală degajată deasupra acestui calibru minim.

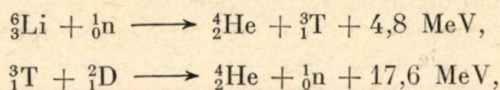
Un asemenea control are însă prea puțini parametri de dirijare, așa că este considerat, pe drept cuvânt, insuficient. O îmbunătățire a situației s-ar realiza dacă ar exista posibilitatea de a se trece la microexplozii. În acest caz, gama energiilor controlate ar crește și chiar ritmul de generare a unei cantități mai mari de energie ar putea fi dirijat printr-o succesiune controlată a microexploziilor.

Pentru realizarea microexploziilor s-au urmărit mai multe căi:

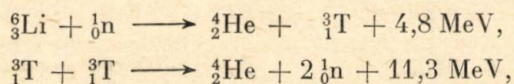
a) În primul rînd s-au căutat noi explozivii fisili care să aibă o masă critică mai redusă. Se pare că unii nuelizi transuranici, cum ar fi californiul-254, ar putea reduce simțitor masa critică a explozivului fisil. Mai mult chiar, excesul



de neutroni care rezultă la fisiunea acestui nucleid ar facilita realizarea unor cicluri termonucleare în genul ciclului lui Jetter:



sau chiar a ciclului lui Richter:



care se pot produce la temperaturi mai scăzute, fiind vorba de reacții ale tritiului.

Aceste combinații între reacțiile de fisiune și cele de fuziune pot să aibă un frumos viitor dacă vor fi studiate mai în detaliu și, mai ales, promit rezultate foarte bune dacă ar putea fi realizate la nivelul microscopic prin interacțiuni directe.

b) O altă linie urmată la trecerea spre microexplozii a fost utilizarea încărcăturilor cumulative de explozivi chimici. Încă din 1951. Fonberg a anunțat descoperirea unor transmutații nucleare în decursul exploziilor încărcăturilor cumulative. Deși evidența prezentată de Fonberg a fost contestată, ulterior s-a văzut că asemenea lucrări au fost efectuate cu oarecare rezultate pozitive atât în Uniunea Sovietică, cât și în Statele Unite. În 1958 Arțimovici a anunțat chiar că în Uniunea Sovietică s-a reușit amorsarea unor reacții termonucleare prin acțiunea undelor de șoc provenite de la încărcături explozive cumulative etajate.

Întrucât calibrul minim al încărcăturii cumulative de exploziv chimic (hoxogen, pentrită etc.) este mult mai mic decât al încărcăturii explozive nucleare, înseamnă că se poate merge mult mai departe pe drumul microexploziilor. Spre deosebire însă de cazul precedent, al combinațiilor fisiune-fuziune, aici nu avem posibilitatea cuplării directe, la nivel microscopic, a proceselor chimice cu procesele nucleare de fuziune.

c) Calibrul exploziei poate fi redus și mai mult dacă se utilizează ca agent de amorsare explozia conductorilor metalici subțiri supraîncărcați. Se utilizează sîrme subțiri metalice încărcate cu combinații de ale deuteriului și tritiului. Fenomenul este destul de complicat, fiind vorba la început de o transplozie urmată de o explozie normală a gazelor rezultate, dar totuși limitată de anumite efecte magnetice ale curentului de descărcare. Schema unei asemenea instalații este dată în figura 2. Cu o sîrmă de aur foarte subțire s-a obținut o temperatură de  $3 \cdot 10^6 \text{ K}$ .

Impedimentele acestui mod de inițiere constau, în primul rînd, în faptul că la trecerea curentului electric prin masa volatilizată se vor „încălzi” electronii și numai după aceea — prin ciocniri cu electronii accelerați — nucleeele care trebuie să fuzioneze, precum și, în al doilea rînd, în faptul că în plasmă pătrund impurități metalice (din metale cu număr atomic mare), care fac să crească



foarte mult energia pierdută prin radiație. Între timp, explozia conductorilor subțiri a găsit și alte aplicații în afară de cele termonucleare, astfel încât studiul lor evoluează independent de realizările în domeniul fuziunii controlate.

d) Tot în cadrul fenomenelor explozive trebuie amintite și încercările de amorsare a fuziunii termonucleare cu ajutorul undelor de șoc magnetohidro-

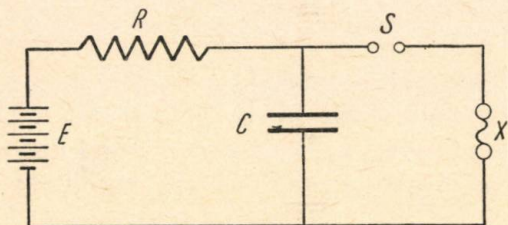


Fig. 2. Schema instalației pentru explozia conductorilor electrice supraîncățați.

dinamice. Aceste unde de șoc pot fi controlate mai bine decât undele de șoc ale exploziilor cumulative chimice și dau o încărcare energetică de particulele reactante mult mai mare, fapt care le deschide un câmp larg de aplicații.

**Amorsarea prin accelerare.** Se știe că în acceleratoarele de particule binecunoscute (Van de Graaff, ciclotron, accelerator liniar, sincrotron etc.) se pot obține energii ale nucleelor cu mult mai ridicate decât pragul de amorsare a reacțiilor termonucleare, deci fasciculul de ioni accelerați ieșit din aceste acceleratoare ar putea fi dirijat spre o țintă anumită spre a da reacții termonucleare.

Față de această metodă se pot manifesta totuși oarecare rezerve. În primul rând, fiind vorba de un fascicul dirijat, nu se va obține o reacție termonucleară veritabilă decât după terminarea particulelor din fascicul, adică transformarea mișcării dirijate în mișcare dezordonată de aceeași intensitate pentru toate particulele prezente. Însă în decursul acestei termizări se pierde foarte multă energie în procesele de disociere, de ionizare etc., care reduc foarte mult temperatura finală a amestecului reactant, sub pragul de amorsare al reacțiilor termonucleare. În ceea ce privește ciocnirile directe care s-ar putea produce între nuclee, spre exemplu între deuteronii accelerați și nucleele de deuteriu dintr-o țintă de  $D_2O$ , probabilitatea lor este foarte redusă. De aceea reacția menționată nu prezintă interes deocamdată decât ca sursă de neutroni monoenergetici.

Chiar atunci când s-ar utiliza ciocnirea a două fascicule accelerate, când energia pusă în jos la ciocnire este mult mai mare decât în cazul ciocnirii fasciculului accelerat cu o țintă fixă, rezultatele nu ar fi prea îmbucurătoare. Se poate calcula că, având fascicule intense de deuteroni accelerați la 100 keV, cu densitate de curent de  $0,1 \text{ A/cm}^2$ , am avea aproximativ  $2 \cdot 10^9$  nuclee pe  $\text{cm}^3$  și puterea rezultată în urma fuziunii lor ar fi de aproximativ  $4 \cdot 10^{-11} \text{ W/cm}^3$ , ceea ce este, desigur, prea puțin. Accelerarea se folosește doar ca mijloc de injectare a nucleelor în instalații termonucleare mai complicate.



**Metode magnetohidrodinamice. Efectul de stricțiune, sau efectul pinch.** Încă din 1934, Willard H. Bennett a publicat o lucrare despre „autofocalizarea magnetică a curenților”, efect pe care ulterior Tonks l-a numit „efect pinch”. Această denumire provine de la faptul că, la o descărcare electrică foarte intensă în gaze, coloana de descărcare are tendința de a se stricționa, datorită efectului

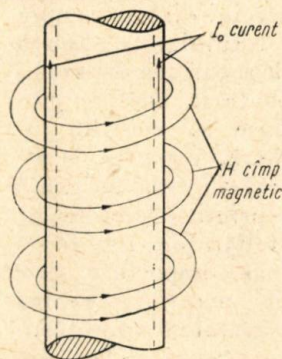


Fig. 3. Efectul de stricțiune.

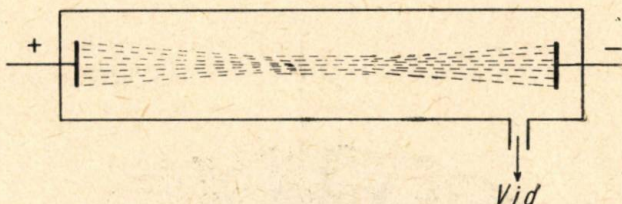


Fig. 4. Efectul pinch liniar.

cîmpului magnetic creat de însuși curentul de descărcare. În figura 3 este prezentat schematic acest efect de stricțiune. Cîmpul magnetic circular (tangential sau azimutal) creat de curentul electric al descărcării tinde să devină mai intens atunci cînd intensitatea curentului crește. Deci el se va strînge spre axă, antrenînd cu el și plasma formată prin acțiunea descărcării. Se va produce o compresiune, un fel de implozie a plasmei, ceea ce provoacă o încălzire puternică a ei și în același timp nu-i permite să se disperseze din cauza presiunii proprii. Se realizează deci concomitent încălzirea și îngrădirea plasmei.

Actualmente există în studiu mai multe tipuri de instalații termonucleare bazate pe efectul de stricțiune.

Cea mai simplă schemă este pinchul liniar (fig. 4.) Între cei doi electrozi metalici se produce o descărcare intensă; din această cauză, ei vor suferi din plin efectul bombardării cu particulele accelerate din plasmă. Acest fapt duce nu numai la o uzură prematură a lor, ci și la impurificarea plasmei cu atomi cu număr atomic mare proveniți din materialul electrozilor, ceea ce duce la o creștere mare a disipării de energie prin radiație atomică.

Pentru a se elimina efectele dăunătoare de la electrozi, s-a imaginat un tub de descărcare fără electrozi, constituit dintr-un tor (fig. 5) care are o înfășurare exterioară (primarul); în interiorul lui se află o plasmă rarefiată, care joacă rolul de secundar al unui transformator. Curentul care ia naștere în secundar va avea o formă circulară și va da naștere unui cîmp magnetic tangential (sau azimutal), pe cînd înfășurarea exterioară va da naștere unui cîmp magnetic axial. Procesul de îngrădire și de compresiune se produce la fel ca la pinchul liniar. Din această categorie face parte și instalația engleză Zeta.



Deoarece în geometria toroidală se produce o separare de sarcini electrice datorită neomogenității câmpului magnetic în interiorul torului, vor apărea oscilații și instabilități care reduc performanțele acestui tip de instalații. Pentru a elimina această separare de sarcini, sau, mai bine zis, pentru a o compensa, Lyman Spitzer a imaginat o nouă geometrie — torul întors în formă de 8 —,

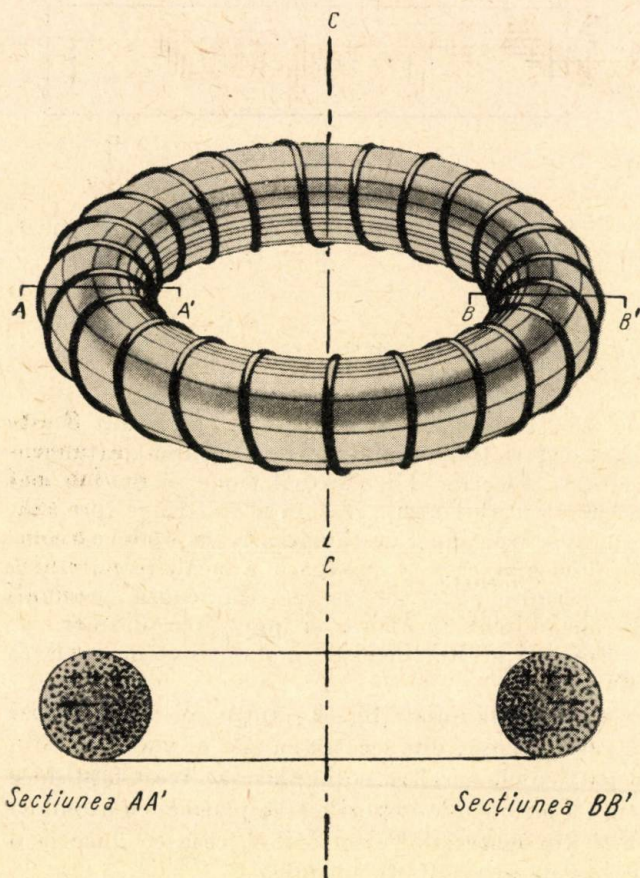


Fig. 5. Descărcare toroidală. Înfășurarea exterioară formează primarul, iar fișa de plasmă din interior, secundarul unui transformator.

cărcare și ale câmpului magnetic. Astfel sînt: pinchul, pinchul cu miez tare, pinchul ortogonal etc.

**Capcanele și oglinzile magnetice.** Prin „capcană magnetică” se înțelege o configurație magnetohidrodinamică de îngădare a plasmei cu ajutorul unui câmp

la care separarea de sarcini dintr-o ramură a torului este anulată de separarea de sarcini contrare care se produce în cealaltă ramură. Acest tip de instalație termonucleară a primit denumirea de stellarator (fig. 6) și mai comportă o serie de accesorii pentru corectarea traiectoriilor particulelor din plasmă.

Pentru a ne face o idee despre aceste tipuri de instalații amintim că stellaratorul C este un tub lung de 13 m cu un diametru interior de 20 cm și cu un câmp magnetic maxim de 55 000 Gs, care poate fi menținut timp de 2 s cu o putere electrică de 400 MW. Încălzirea se poate face și prin radiofrecvență, fiind necesară o putere suplimentară de 50 MW.

S-au mai propus și chiar experimentat o serie de alte instalații bazate pe alte geometrii ale tubului de des-

theta, pinchul invers,



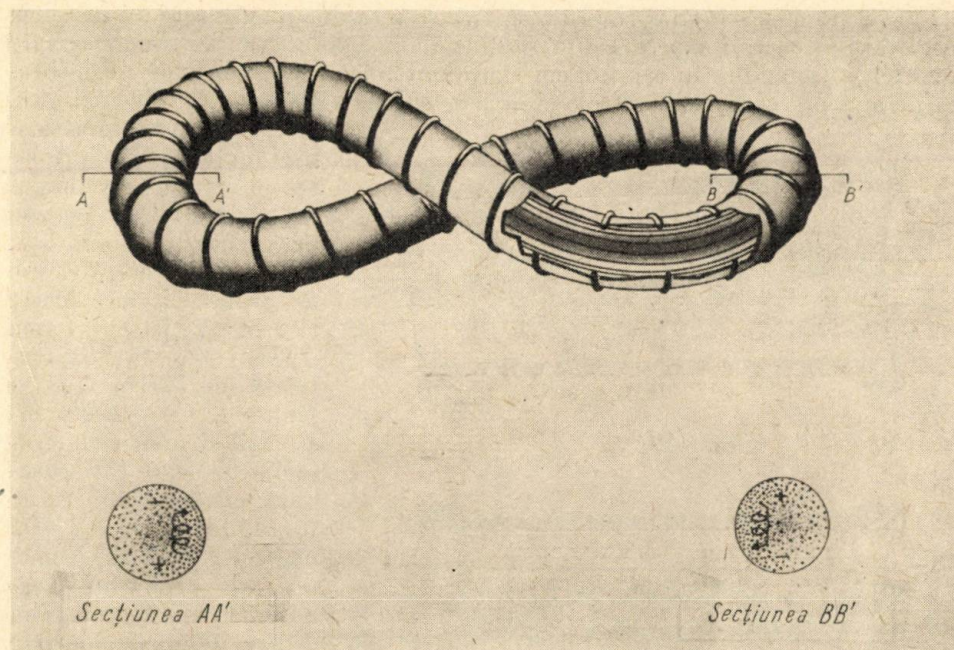


Fig. 6. Stellaratorul în formă de 8.

magnetic extern plamei. Deci în această categorie s-ar încadra și geometriile expuse mai înainte, cu excepția pinchului liniar. Unele capcane funcționează pe principiul limitării driftului (devierea traiectoriilor particulelor din fasciculul de plasmă). În această categorie ar intra, spre exemplu, stellaratorul și celelalte geometrii speciale ale pinchului modificat. Altele funcționează pe baza barierelor magnetice. Aceste instalații sînt cunoscute în literatură sub denumirea de „oglinzi magnetice“.

Ele constau, în esență, dintr-un recipient (fig. 7) în care plasma este reținută cu ajutorul unui cîmp magnetic axial exterior. Pentru a se evita scăpările de particule pe la capetele sistemului, înfășurarea care generează cîmpul magnetic este astfel făcută, încît intensitatea cîmpului magnetic la capetele sistemului să fie mai mare decît la mijloc. Urmărind mișcarea unei particule prinse în această capcană, vom observa că ea girează în jurul unei anumite linii de forță, deplasîndu-se eventual de-a lungul ei, dar cînd se apropie de regiunile cu cîmp magnetic intens este „reflectată“ spre partea centrală a sistemului, acolo unde intensitatea cîmpului magnetic este mai mică. Deci cîmpul magnetic intens constituie pentru plasmă o adevărată barieră magnetică sau o oglindă magnetică.



În această capcană cu oglinzi magnetice se introduc nuclee care au fost deja accelerate la energii superioare pragului de amorsare a reacției termonucleare și astfel, mișcându-se în capcană un timp mai îndelungat, vor avea posibilitatea de a se ciocni unele cu altele și de a reacționa. Temperatura plasmei interioare poate fi ridicată și mai mult prin comprimarea ei cu ajutorul cîmpului magnetic, așa cum se vede schematic în figura 7.

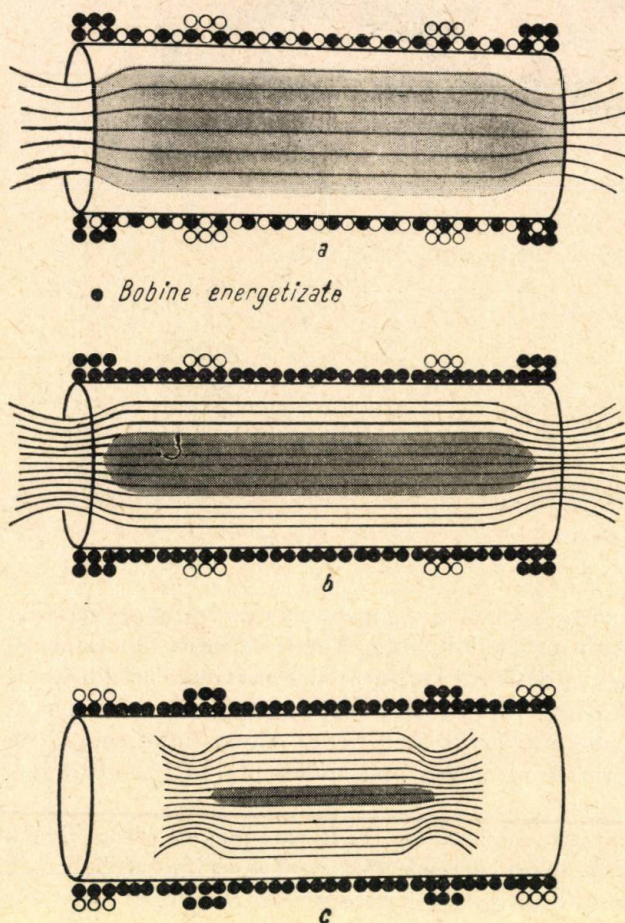


Fig. 7. Compresiunea plasmei în oglinzile magnetice.

torr pentru ca ionii injectați cu o energie de 200 keV (adică o temperatură de peste două miliarde de grade) să nu-și piardă energia prin ciocniri ineficace înainte de a da reacții termonucleare. Totuși, în timpul termizării acestor particule energetice se vor produce ciocniri cu gazul rezidual din capcană, temperatura scăzând simțitor. Primul etaj al instalației de vid

Din această categorie de instalații face parte și instalația sovietică „Ogra” (fig. 8 și 9), realizată de Arțimovici și Golovin. La această instalație, diametrul înfășurării exterioare care generează cîmpul magnetic de îngrădire este de 1,8 m și poate da diferite geometrii ale cîmpului magnetic. Distanța maximă dintre oglinzile magnetice este de 12 m. Intensitatea cîmpului magnetic din instalație este de 5 000 Gs, iar la extremitățile instalației — acolo unde sînt oglinzile sau barierele magnetice — intensitatea acestui cîmp este de 8 000 Gs. Putea electrică necesară pentru crearea acestui cîmp magnetic este de 4 000 KW. Camera de reacție propriu-zisă este din oțel inoxidabil și are diametrul de 1,4 m.

Vidul din instalație trebuie să ajungă la  $10^{-8}$



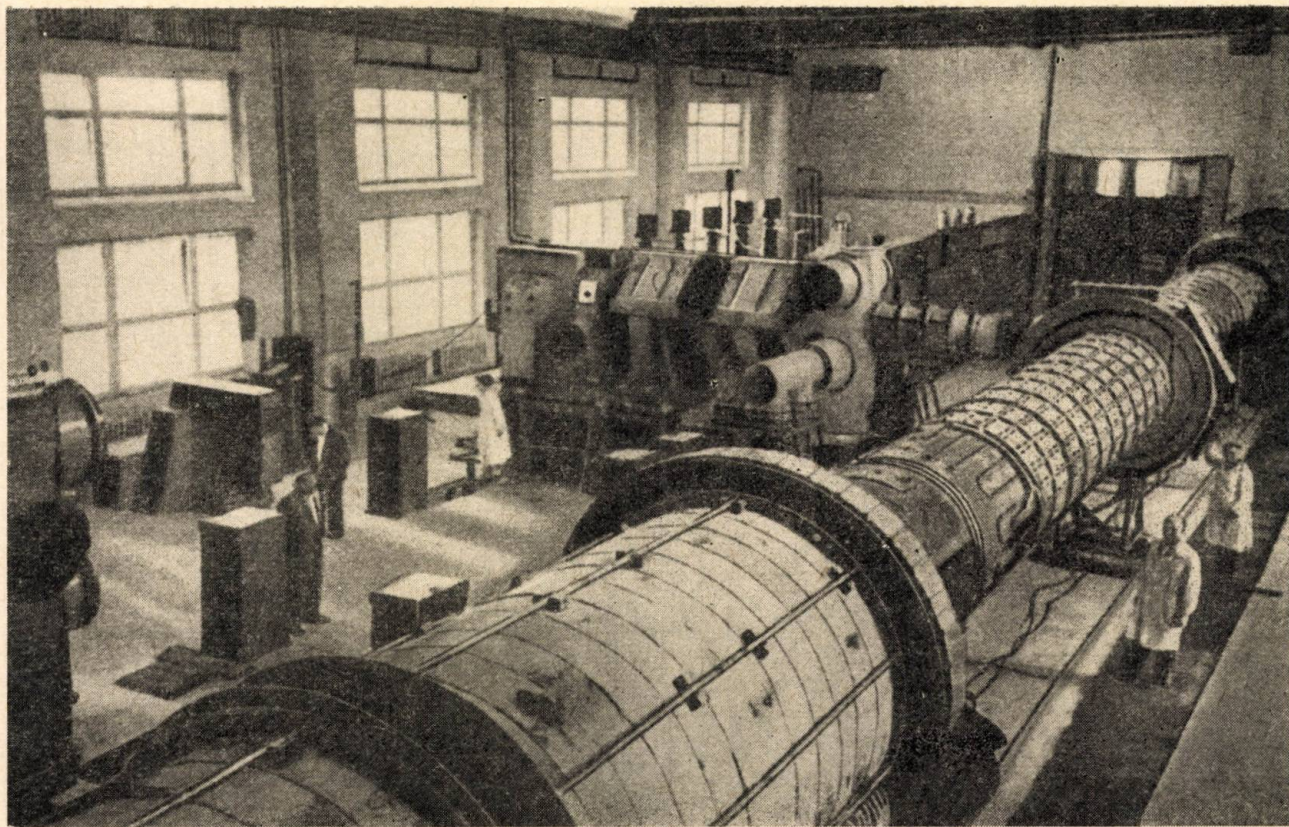


Fig. 8. Instalația „Ogra“.



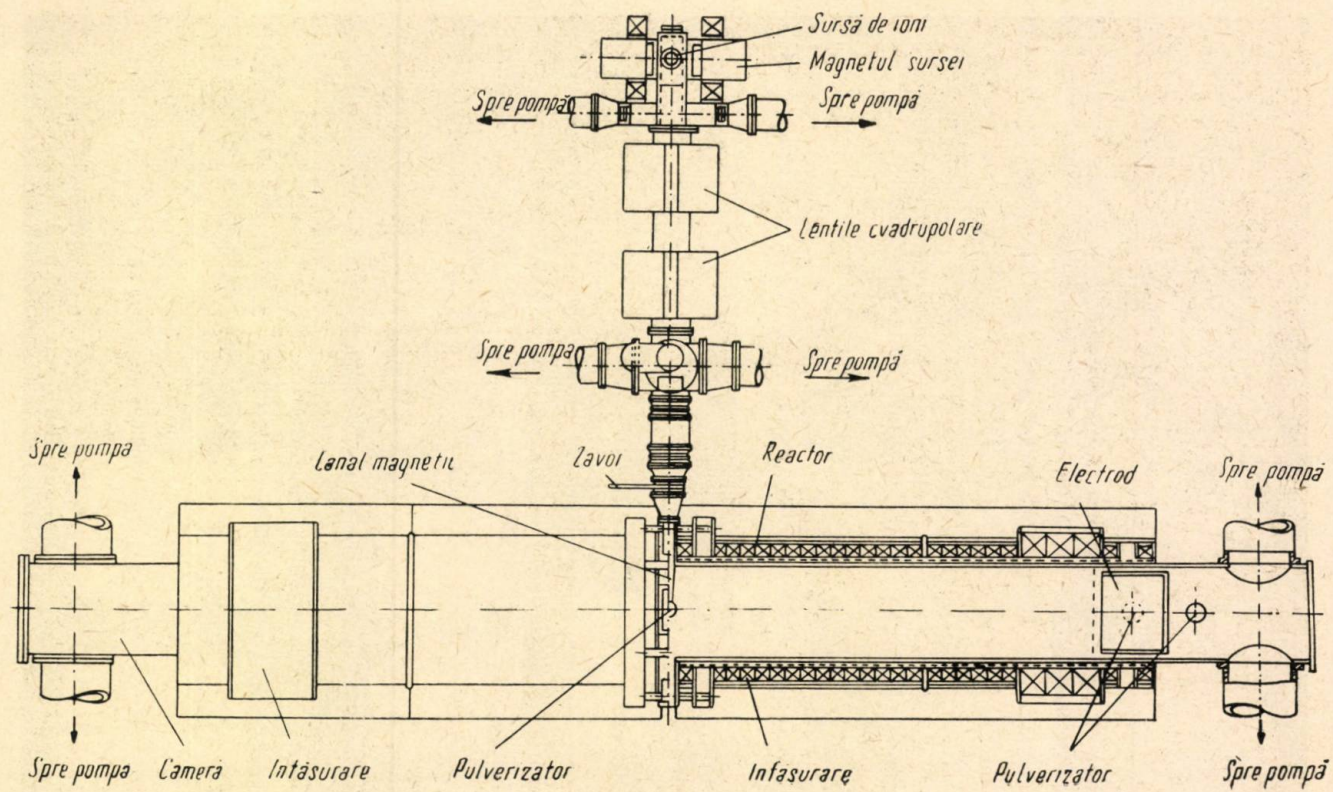


Fig. 9. Schema de principiu a instalației „Ogra”.



constă din pompe de difuzie cu mercur care realizează un vid de  $10^{-6}$  torr. Vidul final este atins cu ajutorul pompelor ionice și prin pulverizare directă de praf de titan în camera încălzită. Se poate calcula că la o densitate de particule de  $10^{13}\text{cm}^{-3}$  ionii pot gira liber câteva sute de secunde prin camera de reacție; înainte de a ieși prin barierele magnetice, ei parcurg un drum de peste 100 000 km.

Complicații tehnice similare există de altfel și la alte instalații termonucleare amintite deja, cum ar fi Zeta sau stellaratorul.

Cu ajutorul oglinzilor magnetice se pot îngrădi și antiparticulele. Astfel pozitronii au fost deja îngrădiți pentru perioade de timp de 10 s. Acest lucru are mare importanță la proiectarea instalațiilor de obținere a energiei prin procese de anihilare a particulelor cu antiparticulele respective.

*Alte instalații.* Pe baza calculelor specifice magnetohidrodinamicii se poate ajunge la concluzia că un cîmp magnetic curbat, care are concavitatea către plasmă, nu o poate îngrădi în mod absolut. O îngrădire mai eficientă ar fi aceea în care plasma stă pe partea convexă a liniilor de forță ale cîmpului magnetic curbat, deoarece astfel o particulă care ar încerca să scape din ea ar da de o intensitate din ce în ce mai mare a cîmpului magnetic și ar fi reflectată ca de o oglindă

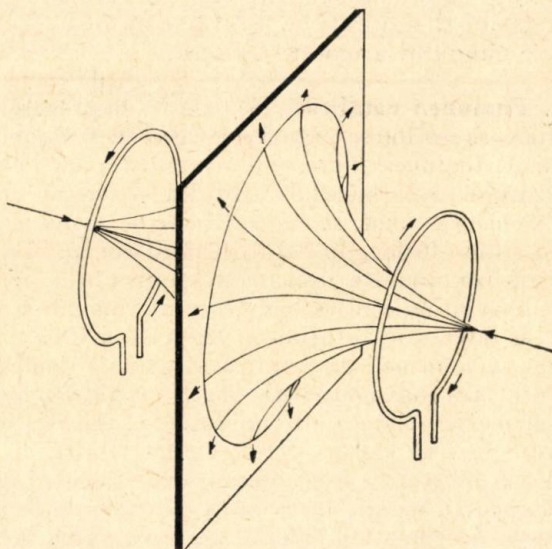


Fig. 10. Cîmp magnetic cu arcuiri convexe.

magnetică. De aici s-a ajuns la ideea unei geometrii particulare a cîmpului magnetic, ale cărei linii de forță formează între ele, în patru puncte, arcuiri curbilinii ascuțite în răspăr (*cusp, picket-fence*). O asemenea geometrie a cîmpului magnetic poate fi generată cu ajutorul unor înfășurări paralele prin care curentul electric se scurge în sens contrar (fig. 10).



În alte instalații se caută să se îmbunătățească condițiile de îngrădire prin imprimarea unei mișcări în masă a plasmei. Astfel, în instalația cunoscută sub denumirea de Homopolar, peste un câmp electric radial se suprapune un câmp magnetic axial, suprapunere care provoacă rotirea axială a plasmei. Instalația similară Ixion este, în esență, o capcană cu oglinzi magnetice în care se produce și un câmp electric radial, care provoacă de asemenea rotirea energetică a plasmei. Prin această rotire se încearcă reducerea pierderilor de particule prin barierele magnetice.

În instalațiile Collapse și Scylla se utilizează unde de șoc magnetohidrodinamice, care ionizează amestecul termonuclear și în același timp îl îngrădesc și îl încălzesc. În ultimul timp s-au realizat temperaturi foarte ridicate prin această metodă, dar timpul de îngrădire este prea redus.

În Statele Unite s-a lucrat într-un timp pe baza principiului lui Christofilos de îngrădire a plasmei într-un câmp magnetic cu linii de forță care se închid în interiorul camerei de reacție, câmpul fiind realizat cu ajutorul unei pături de electroni relativști injectați în instalație. Prin ciocniri cu nucleele din plasmă acești electroni foarte energetici vor furniza energia de încălzire la temperatura de amorsare a reacției termonucleare. Această lucrare este cunoscută sub denumirea convențională „Astron“. Ea are oarecare contingente cu experiența „Argus“ făcută cu ocazia unei explozii nucleare în spațiul periterestru, când electronii relativști rezultați de la fisiune au fost focalizați cu ajutorul liniilor de forță ale câmpului magnetic terestru.

**Fuziunea catalitică.** Se știe că în procesele termonucleare de interes astrofizic se întâlnesc cazuri de cataliză termonucleară. Astfel, în ciclul carbon-azot, fuziunea hidrogenului pentru a da heliu se realizează în prezența unor izotopi ai carbonului, azotului și oxigenului, care au rolul de catalizatori. Asemenea cazuri se mai întâlnesc și la ciclurile neon-sodiu, magneziu-aluminiu și siliciu-fosfor. În cazul fuziunii controlate, utilizarea unui asemenea gen de cataliză nu este deocamdată aplicabilă, deoarece, introducând elemente cu număr atomic mare, crește enorm disiparea de energie prin radiație atomică.

E interesant totuși de amintit că în 1957 Alvarez și colaboratorii săi au anunțat un nou gen de cataliză a fuziunii nucleare cu ajutorul mezonilor  $\mu^-$ , care formează ioni moleculari *mezici* cu hidrogenul sau deuteriul. În ionul molecular mezic fuziunea este produsă de „agitația de zero“ a celor două nuclee, lucru care face să existe o probabilitate finită de ciocnire a lor și deci de fuziune. Efectul acesta a fost observat experimental în camera cu bule. Având în vedere că pentru manifestarea sa este nevoie de deuteriu molecular și cu mare densitate, deci în stare lichidă, nu se va putea lucra decât la temperaturi extrem de reduse, sub punctul de fierbere al hidrogenului (20°K). În aceste condiții nu mai este vorba de o fuziune termonucleară, ci mai degrabă de o fuziune crio-nucleară.

Eficacitatea mezonilor  $\mu^-$  drept catalizatori ai fuziunii este mare. Se poate calcula că în hidrogen lichid un singur mezon  $\mu^-$  poate cataliza cam 100 de fuziuni individuale. De aceea într-o vreme s-a preconizat a se merge pe această linie în controlul fuziunii nucleare, părăsindu-se regimul termonuclear, care



produce atâtea complicații. Totuși există numeroase impedimente care opresc deocamdată această metodă la nivelul experiențelor de laborator. Bineînțeles că primul mare inconvenient este producerea mezonilor  $\mu^-$  pe scară industrială pentru ca această metodă de fuziune să poată avea importanță economică. Apoi însăși starea lichefiată a hidrogenului este incompatibilă cu generarea și extragerea energiei calorice.

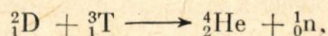
## CE MAI TREBUIE REZOLVAT

Deși la ora actuală se știe că în instalațiile termonucleare s-au atins temperaturi de aproximativ 80 000 000°C, deci peste cele 40 000 000°C socotite necesare pentru fuziunea dirijată a deuteriului cu tritiul, totuși problema acestei fuziuni nu poate fi considerată soluționată. Într-adevăr, în afară de temperatură, mai trebuie asigurate și alte condiții, între care cea mai importantă este timpul de îngrădire. Pentru realizarea reacției de fuziune nucleară este necesar un interval oarecare de timp pentru a se putea produce ciocniri între partenerii de reacție. Ciocnirile acestea sînt rare, deoarece în plasmele termonucleare — foarte puțin dense — drumul liber mijlociu al particulelor este foarte mare, deci frecvența ciocnirilor este redusă.

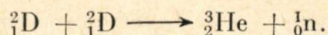
Timpul de îngrădire este redus apoi drastic de instabilități și de pierderile de particule.

Instabilitățile se produc atunci cînd firul de plasmă comprimat ajunge să fie subțire și își modifică geometria liniară, curbindu-se, rotindu-se sau umflîndu-se pe alocuri. Teoria acestor instabilități este foarte mult studiată și parțial s-au găsit anumite modalități de a le micșora sau de a le suprima. Totuși ele sînt numeroase; în alte condiții de funcționare a instalațiilor termonucleare apar alte tipuri de instabilități.

Aceste instabilități falsifică adeseori rezultatele experiențelor termonucleare. De exemplu, verificarea îndeplinirii condițiilor minime pentru inițierea reacțiilor termonucleare a fost preconizată să se facă prin detectarea neutronilor care rezultă atît din reacția



cît și din reacția



În instalațiile termonucleare existente în multe laboratoare din lume se detectează în mod curent pulsuri de neutroni destul de intense, așa că la un examen superficial al experiențelor s-ar părea că s-a realizat fuziunea controlată. Dacă se cercetează însă distribuția spațială a neutronilor rezultați, care la o reacție termonucleară veritabilă ar trebui să fie izotropă, se observă că ea are o anumită direcție privilegiată, care depinde de sensul cîmpului magnetic impus în instalație. Aceasta înseamnă că reacțiile deuteriilor care produc neutroni,



deși sînt identice din punct de vedere nuclear cu cele arătate mai înainte, totuși nu sînt de origine pur termonucleară, ci se datoresc unui mecanism oarecare de accelerare a deuteroniilor la energii suficiente pentru a provoca o reacție nucleară cu emisiune de neutroni.

Acest mecanism de accelerare are loc în momentul apariției unor anumite tipuri de instabilități, cînd iau naștere cîmpuri electrice locale cu o intensitate foarte mare, capabile să accelereze deuteroniile la energia de reacție, deși agitația termică generală este încă departe de cele 40 000 000°C necesare pentru amorsoarea reacției deuteriu-tritiu sau de cele 400 000 000°C necesare pentru amorsoarea reacției deuteriu-deuteriu.

Timpul de îngrădire mai este redus și prin faptul că o parte din particulele plasmelor ies din capcana magnetică, fie traversînd transversal cîmpul magnetic, fie scăpînd pe la capetele configurației magnetice de îngrădire. Acest tip de reducere a timpului de îngrădire este important mai ales la oglinzile magnetice. După cum s-a arătat mai înainte, s-a căutat să se reducă aceste pierderi prin rotirea axială rapidă a plasmelor din interiorul instalației. Totuși, această pierdere rămîne destul de importantă și acționează limitativ asupra performanțelor acestor tipuri de instalații termonucleare.

Chiar stăpînînd instabilitățile și pierderile de particule, trebuie împinsă mai înainte problema încălzirii plasmelor pentru a ajunge la cele 400 000 000°C necesare pentru fuziunea deuteriu-deuteriu, singura reacție termonucleară care deocamdată ar avea importanță economică. Pentru aceasta este nevoie ca mai întîi să dispunem de cîmpuri magnetice suficient de puternice care să poată îngrădi plasma și s-o și încălzească prin compresiune adiabatică, prin unde de șoc magnetohidrodinamice etc. Realizarea acestor cîmpuri magnetice puternice depinde de intensitatea curentului electric trecut prin înfășurarea exterioară, precum și de amplasarea acestei înfășurări. La rîndul ei, intensitatea curentului electric este limitată de conductivitatea electrică a materialului utilizat la confecționarea solenoidelor. Dacă materialul nu este un conductor suficient de bun, atunci trebuie alese secțiuni mai mari ale conductorilor și deci volumul înfășurării se va ridica la diametre prohibitive.

Din această cauză s-a încercat realizarea unor circuite criostatate, în care, manifestîndu-se supraconductibilitatea, volumul înfășurării va scădea foarte mult și, o dată cu el, consumul de energie electrică. Există, totuși, două impedimente majore: primul constă în faptul că domeniul de supraconductibilitate este limitat nu numai de temperatură, ci și de intensitatea magnetizării, ceea ce înseamnă că nu se vor putea realiza atît de ușor cîmpurile magnetice excepționale de care am avea nevoie, iar al doilea constă în incompatibilitatea fizică dintre criostatare și realizarea unei reacții termonucleare, chiar cu o izolare foarte bună a spațiilor de reacție de spațiul înfășurării exterioare. Impedimentele nu sînt totuși de netrecut și viitorul ne va arăta calea cea mai bună de urmat. Deja s-au realizat aliaje supraconductoare din nichel cu staniu, aliaje care își mențin supraconductibilitatea chiar la un cîmp magnetic de 88 000 Oe.

Stăpînirea perfectă a tehnicii manevrării cîmpurilor magnetice este necesară și pentru găsirea unor căi mai bune de extragere a energiei din „cuptoarele“



termonucleare. Dacă energia se extrage sub formă de căldură, atunci temperatura trebuie redusă pînă la nivelul permis de instalațiile termoeenergetice convenționale. Aceasta înseamnă că se va genera o mare cantitate de entropie la conversiunea energiei calorice în energie mecanică mai mare decît atunci cînd această conversiune s-ar face la temperatura ridicată a plasmei. În consecință, și randamentul conversiunii va scădea.

Din această cauză s-a preconizat deja conversiunea directă a energiei plasmei termonucleare în energie electrică pe baza efectului invers comprimării adiabatice a plasmei cu ajutorul cîmpului magnetic, adică, atunci cînd o plasmă îngrădită într-un cîmp magnetic își mărește energia interioară prin fuziune termonucleară, presiunea ei ajunge să întrecă presiunea de comprimare a cîmpului magnetic exterior și se va destinde, „antrenînd“ liniile de forță ale cîmpului magnetic. În consecință, în înfășurarea exterioară care generează cîmpul magnetic va lua naștere un impuls electric, a cărui energie poate fi preluată direct sub formă de curent electric. În acest fel, randamentul de conversiune ar crește foarte mult, iar instalația termoeenergetică s-ar suprima, lucru care ar scădea mult cheltuielile de investiții.

Să vedem acum ce perspective s-ar deschide atunci cînd se va realiza în condiții economice fuziunea termonucleară dirijată. În primul rînd este clar că se va putea menține ritmul actual de dezvoltare a consumului energetic și deci avîntul continuu al civilizației. Să nu credem însă că acest lucru se va face fără oarecare modificări ale condițiilor de viață pe Pămînt. Avînd la dispoziție puterea termonucleară, se va putea trece la topirea calotelor de gheață de la poli și la crearea condițiilor de locuit în Antarctica. Topirea acestor ghețuri va avea ca efect însă ridicarea nivelului oceanelor și, în consecință, vor fi cuprinse de apă (dacă nu se vor lua măsuri de îndiguire) alte teritorii, înfloritoare la ora actuală.

Chiar dacă în intenția tehnicii secolului al XXI-lea nu va sta topirea ghețurilor polare, e foarte probabil că ea totuși se va face, deoarece la  $10^{15}$  W putere instalată sîntem foarte aproape cu producția energetică de debitul energetic al radiațiilor solare care ajung pe Pămînt. În aceste condiții, restul de căldură evacuat de centralele energetice de fuziune controlată va ridica temperatura ambiantă, după N.N. Semenov, cu  $7^{\circ}\text{C}$ , ceea ce înseamnă că se va ajunge și la o perturbare a vieții pe Pămînt, perturbare ale cărei efecte trebuie prevăzute și studiate din timp.

În cazul acesta s-ar putea urma ideea aceluiași savant de a se instala în Lună centrale de forță, iar energia să fie trimisă pe Pămînt prin intermediul microundelor. În acest fel, Pămîntul ar fi scutit cel puțin de generarea de energie calorică netransformabilă în lucru mecanic sau în curent electric.

O aplicație foarte importantă este rezervată fuziunii termonucleare dirijate în zborurile cosmice. Într-adevăr, ea prezintă avantaje excepționale în această privință. În primul rînd ea poate debita cantitățile de energie necesare imprimării accelerației pentru atingerea vitezelor relativiste. Apoi, ea folosește un combustibil (hidrogenul) prezent în orice parte a universului în cantități masive, deci nu se pun probleme de stocare, de ridicare a greutății moarte a rachetelor



etc. În fine, prin particularitățile de efectuare a fuziunii termonucleare în plasmă complet ionizată conținute în câmpuri magnetice foarte puternice, sîntem foarte aproape de realizarea concomitentă a propulsiei prin recul cu ajutorul jeturilor de plasmă puternic accelerate.

Un obiectiv mult mai pretențios, dar în același timp și mai important, este utilizarea acestei energii enorme pentru corectarea traiectoriilor planetelor, aducîndu-le la o distanță de Soare potrivită pentru a deveni locuibile. Cu ajutorul descompunerilor chimice ale rocilor se va putea corecta și compoziția atmosferei lor ca să devină respirabilă.

Toate acestea sînt motive suficiente pentru a considera că investigațiile actuale în domeniul fuziunii termonucleare dirijate, oricît de costisitoare și de laborioase ar fi, merită să stea pe primul plan în atenția institutelor de cercetare de specialitate.



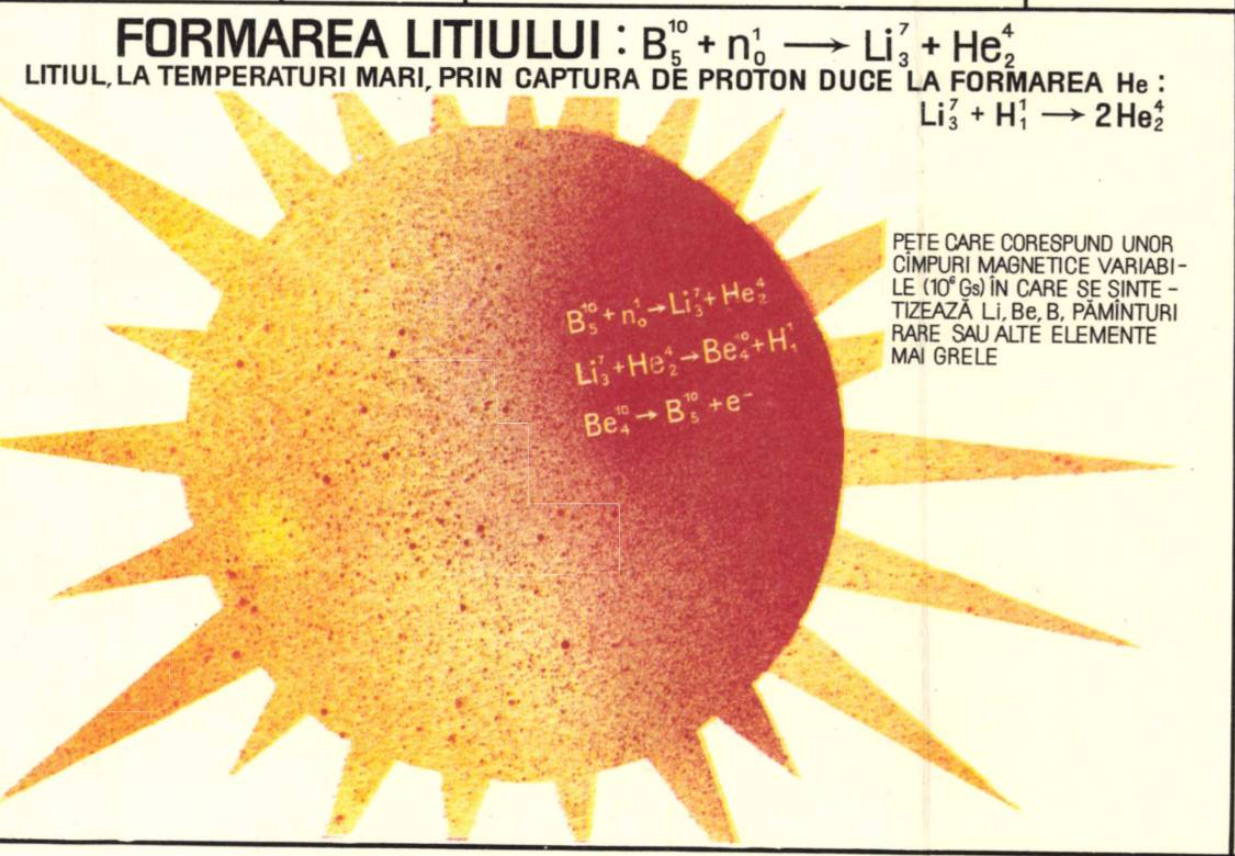
PRIMA GENERATIE DE STELE

| TEMPERATURA                                                                                                                            | PRODUSELE REACTIILOR NUCLEARE                                                                                                                                   | DEZVOLTAREA REACTIILOR NUCLEARE IN INTERIORUL STELELOR O DATA CU EVOLUTIA (CONTRACTIA) LOR                                                                                                                                                                                                                                                     | EFECTELE                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| SCAZUTA                                                                                                                                |                                                                                                                                                                 | MEDIUL INTER-<br>STELAR IN STA-<br>REA INITIALA<br>INTR-UNUL DIN<br>MOMENTELE<br>DEZVOLTARII<br>METAGALAXIEI<br>FORMAT DIN H<br>CU SLABE UR-<br>ME DE Li, Be, B                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 10 <sup>6</sup> grade                                                                                                                  | -PRIMELE REACTII<br>TERMO-NUCLEARE<br>-SE CONSUMA Li,<br>Be, B<br>-SE FORMEAZA<br>IZOTOPI DE HE-<br>LIU (He <sup>3</sup> )<br>-REZULTA PUTIN<br>He <sup>4</sup> | FORMAREA STELELOR GIGANTE<br>$H^1(p, \beta^+, \nu) \rightarrow D^2$<br>$D^2(p, \gamma) \rightarrow He^4$<br>$He^4(He^4, 2p) \rightarrow He^6$<br>$He^6(\alpha, \gamma) \rightarrow Li^7$<br>$Li^7(p, \alpha) \rightarrow He^4$<br>$He^6(p, \gamma) \rightarrow B^7$<br>$B^7(\beta^+, \nu) \rightarrow He^4$<br>$He^6(\alpha) \rightarrow He^4$ | PIERDERE DE MA-<br>SA PRIN EMITE-<br>REA CONTINUA DE<br>GAZE DE PE SU-<br>PRAFAJA STELEI<br>SI EJECTII                                                                                                                                                                                                                                                            |
| IN CURSUL CON-<br>TRACTIEI INTERI-<br>ORUL STELEI SE<br>INCALZESTE PRIN<br>ELIBERARE DE<br>ENERGIE POTEN-<br>TIALA GRAVITATIO-<br>NALA |                                                                                                                                                                 | CONTRACTIE INTENSĂ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 5.10 <sup>6</sup> grade                                                                                                                | REACTII VEHEMEN-<br>TE p → p<br>-SE FORMEAZA He <sup>4</sup><br>MASIV<br>-REZULTA ENERGIE<br>ENORMA                                                             | $4H^1 \rightarrow He^4 + 2\gamma + \text{ENERGIE}$                                                                                                                                                                                                                                                                                             | ELIBERARE DE E-<br>NERGIE INTR-UN<br>GRAD SUFICIENT<br>PENTRU MENTI-<br>NEREA LUMINO-<br>ZITATII STELEI                                                                                                                                                                                                                                                           |
| INCALZIRE SI MAI<br>PUTERNICA PRIN E-<br>LIBERARE DE ENER-<br>GIE POTENTIALA<br>GRAVITATIONALA                                         | RITMUL REACTII-<br>LOR<br>p → p<br>SE INCETINESTE                                                                                                               | CONTRACTIE FOARTE INTENSĂ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 100-200.10 <sup>6</sup> grade                                                                                                          | REACTII TERMO-<br>NUCLEARE INTRE<br>PARTICULE α (RE-<br>ACTIILE HELIU-<br>LUI) CU RADIATII<br>ELECTROMAGNETI-<br>CE γ                                           | $He^4 + He^4 \rightarrow Be^8$<br>O PARTE DIN: $(Be^8 \rightarrow 2He^4)$<br>ALTĂ PARTE DIN:<br>$Be^8 + He^4 \rightarrow C^{12} + \gamma$<br>$C^{12} + He^4 \rightarrow O^{16} + \gamma$<br>$O^{16} + He^4 \rightarrow Ne^{20} + \gamma$<br>$Ne^{20} + He^4 \rightarrow Mg^{24} + \gamma$                                                      | IN ACEST INTERVAL<br>DE TEMPERATURA,<br>STELELE DIN PRI-<br>MA GENERATIE EX-<br>PULSEAZA SAU EX-<br>PLODEAZA (NOVE<br>SI SUPRANOVE) SI<br>UMPLE DIN NOU SPA-<br>TIUL INTERSTELAR<br>CU ELEMENTE GRE-<br>LE C, O, Ne, Mg ETC                                                                                                                                       |
| 5.10 <sup>8</sup> grade                                                                                                                | REACTII BILANT<br>INTRE NUCLEELE<br>DE C, O, Ne                                                                                                                 | $C^{12} + O^{16} \rightarrow Si^{28}$<br>O PARTE DIN: $Si^{28} + C^{12} \rightarrow Ca^{40}$<br>ALTĂ PARTE DIN: $Si^{28} + Ne^{20} \rightarrow Cr^{48}$<br>$Cr^{48} + 2He^4 \rightarrow Fe^{56} + 2e^-$                                                                                                                                        | LA TEMPERATURI SUB 5.10 <sup>8</sup><br>SI DENSITATI DE ORDINUL<br>GENERAL DE MAGNITUDINE<br>10 <sup>5</sup> -10 <sup>6</sup> g/cm <sup>3</sup> NUCLEUL CEL<br>MAI ABUNDENT IN ECHILI-<br>BRUL STATISTIC ESTE Fe <sup>56</sup><br>-DACA DENSITATEA SE MA-<br>RESTE CU MAI MULTE OR-<br>DINE DE MAGNITUDINE,<br>DEVIN MAI ABUNDENTI<br>NUCLEII OARECUM MAI<br>GREI |
| > 5.10 <sup>8</sup> grade                                                                                                              |                                                                                                                                                                 | $He^4$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | DACA TEMPERATURA SE<br>RIDICA PESTE 5.10 <sup>8</sup> ATUNCI<br>HEI DEVIN NUCLEUL CEL<br>MAI ABUNDENT CU O SE-<br>RIE DE CONDITII IN CARE<br>MATERIALUL SE MODIFICA<br>DE LA A FI APROAPE TO-<br>TUL Fe <sup>56</sup> LA APROAPE He <sup>4</sup>                                                                                                                  |
|                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                 | SE CONTINUA EVOLUTIA STELEI CATRE<br>STELELE PITICE ALBE FOARTE DENSE<br>-LA O PITICA NEAGRA CARE S-A RACIT                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |

**FORMAREA LITIULUI** :  $B^{10} + n^1 \rightarrow Li^7 + He^4$   
LITIUL, LA TEMPERATURI MARI, PRIN CAPTURA DE PROTON DUCE LA FORMAREA He :  
 $Li^7 + H^1 \rightarrow 2He^4$

PETE CARE CORESPUND UNOR  
CIMPURI MAGNETICE VARIABI-  
LE (10<sup>4</sup> Gs) IN CARE SE SINTE-  
TIZEAZA Li, Be, B, PAMINTURI  
RARE SAU ALTE ELEMENTE  
MAI GRELE

$B^{10} + n^1 \rightarrow Li^7 + He^4$   
 $Li^7 + He^4 \rightarrow Be^9 + H^1$   
 $Be^9 \rightarrow B^{10} + e^-$

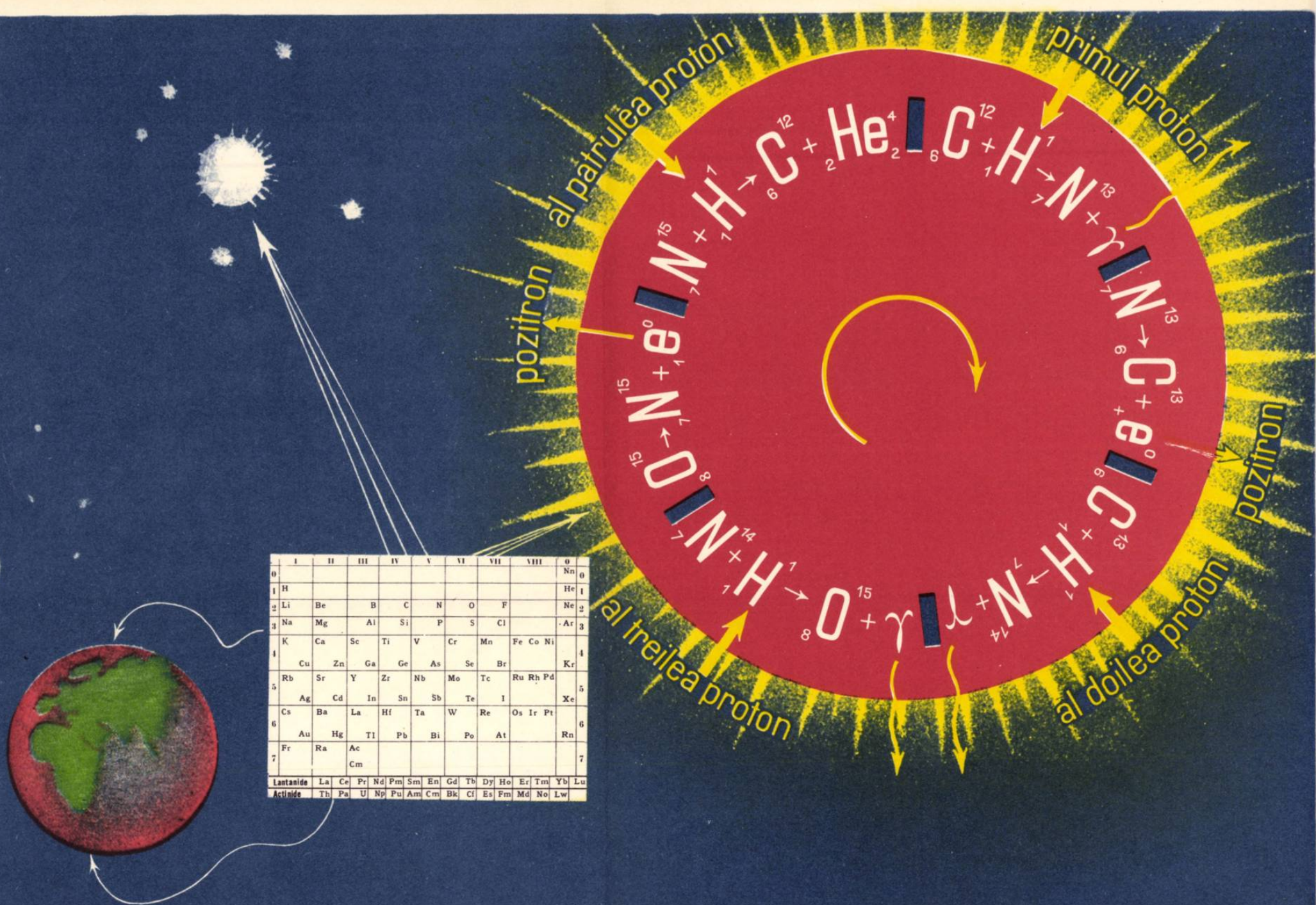


A DOUA GENERATIE DE STELE

| TEMPERATURA                 | PRODUSELE REACTIILOR NUCLEARE                                                  | DEZVOLTAREA REACTIILOR NUCLEARE IN INTERIORUL STELELOR O DATA CU EVOLUTIA (CONTRACTIA) LOR                                                                                                                                                                                                                                                                                       | EFECTELE                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                             |                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 15-20.10 <sup>6</sup> grade | -INCIP REACTIILE<br>CICLULUI C-N<br>(CATALIZATORII)<br>-ABUNDENȚA<br>MARE DE N | CONDENSARE<br>STELE CU MULT H <sub>2</sub> SI CU ELEMENTE MAI<br>GRELE C O Ne<br>$C^{12}(p, \gamma) N^{13}(\beta^+, \nu) C^{13}$<br>$C^{13}(p, \gamma) N^{14}$<br>$N^{14}(p, \gamma) O^{15}(\beta^+, \nu) N^{15}$<br>$N^{15}(p, \alpha) C^{12}$<br>$O^{16} + p \rightarrow F^{17} + \gamma$<br>$F^{17} \rightarrow O^{17} + e^+ + \nu$<br>$O^{17} + p \rightarrow N^{16} + He^4$ |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 85.10 <sup>6</sup> grade    | CAPTURĂ DE PAR-<br>TICULE α CU PU-<br>NERE ÎN LIBERTA-<br>TE DE NEUTRONI       | $C^{12} + He^4 \rightarrow O^{16} + \text{neutron}$<br>$O^{17} + He^4 \rightarrow Ne^{20} + \text{neutron}$<br>$Ne^{21} + He^4 \rightarrow Mg^{24} + \text{neutron}$<br>NEUTRONII LIBERI REZULTAȚI<br>PĂTRUND ÎN NUCLEELE ATOMILOR<br>GREI SI DAU NAȘTERE ÎN MOD<br>TREPTAT ALTOR ELEMENTE DIN<br>CE ÎN CE MAI GRELE CA $Pb^{208}$<br>SI $Bi^{209}$                              | TOTODATĂ ÎNCEP<br>SI REACTIILE DE<br>CAPTURĂ PROTON<br><br>REACTII PRO-<br>DUSE PE CALE<br>ARTIFICIALĂ<br>POSSIBILE ÎN<br>CICLUL REAC-<br>ȚIILOR NUCLE-<br>ARE NATURALE<br>$Mg^{25} + He^4 \rightarrow Al^{29} + p^1$<br>$Al^{29} \rightarrow Si^{28} + e^-$<br>$Al^{27} + He^4 \rightarrow P^{30} + n^1$<br>$P^{30} \rightarrow Si^{30} + e^-$ |

SINTEZA ELEMENTELOR ÎN COSMOS  
ÎN PRIMEL E DOUĂ GENERAȚII





### REPARTIȚIA ELEMENTELOR ÎN SISTEMUL SOLAR



Originea elementelor  
în componența chimică a Pământului  
și a universului

---

Prof. Univ. Gh. MASTACAN







Rezultatele excepționale obținute în ultimii 50—60 de ani în chimie și mai ales în fizică au determinat într-o largă măsură caracterul principal al proceselor tehnice-economice ce se desfășoară sub ochii noștri.

Datorită unor cercetări foarte adânci și destul de fructuoase, s-a ajuns astăzi la cunoașterea multor particule elementare constituente ale universului.

S-a constatat că prin unirea acestor particule într-o foarte mare varietate de moduri se poate ajunge la diferitele forme sub care se prezintă materia în univers.

Astfel, dacă trei din aceste particule elementare — protonii, neutronii și electronii (negativi) — se grupează în anumite proporții bine determinate, se ajunge la construirea edificiilor (bineînțelese ceva mai complicate) „atomice“.

Atomii se grupează, la rândul lor, în molecule, care pot să existe de la formele cele mai simple pînă la cele mai complicate.

Agitația termică face ca atomii sau moleculele să se apropie atît de mult, încît forțele de atracție dintre atomi determină fie gruparea unor atomi în molecule fie o altă grupare a atomilor din interiorul moleculelor.

Este evident, prin urmare, că pentru a accelera o reacție chimică sau chiar pentru a o iniția, atunci cînd ea se efectuează în condiții mai puțin prielnice, este suficient să ridicăm temperatura mediului respectiv cu cîteva grade în scopul intensificării agitației termice.

Firește că temperaturile necesare în vederea efectuării unor asemenea reacții nu depășesc decît în rare cazuri cîteva sute de grade.

Dinamica tuturor proceselor care se efectuează pe Pămînt se datorește aproape exclusiv energiei solare, din care o parte ajunge la noi sub formă de radiații.

În primele timpuri, imediat după formarea Pămîntului, un rol important l-a jucat din acest punct de vedere și energia datorită dezintegrării elementelor radioactive, mai abundente atunci în masa Pămîntului decît se dovedesc a fi astăzi în scoarța sa (în litosferă).

Trebuie spus că, dintre toate corpurile cosmice, cea mai mare importanță pentru Pămînt o are Soarele, corpul central al sistemului nostru planetar. Cîmpul său de forțe este acela care dirijează mișcarea planetelor, trimițîndu-le în același timp un torent neîntreșcut și constant de radiații, care provin, după cum se va vedea, numai din energia nucleară degajată prin reacțiile nucleare spontane din interiorul lui.

Este locul să subliniem chiar de la început că marea cantitate de energie pe care Soarele o împarte planetelor sale este asigurată pe încă multe miliarde de ani de acum înainte.



Pentru a ne da seama de mecanismul acestor reacții nucleare, care ne vor conduce în cele din urmă la explicarea genezei elementelor în univers, este necesar să facem o scurtă incursiune în atom.

La sfîrșitul secolului al XIX-lea, descoperirea radioactivității a deschis calea spre cunoașterea structurii nucleului atomic.

Acest nucleu are un volum de vreun milion de miliarde de ori mai mic decît acela ocupat de întregul atom și este alcătuit din două feluri de particule elementare: protonii, cu sarcină electrică pozitivă (+), și neutronii, fără sarcină electrică. Ceva mai tîrziu s-a arătat însă că aceste particule sînt în continuă transformare în nucleu, din protoni în neutroni și invers, ele fiind de fapt două stări ale aceleiași formațiuni subatomice: nucleul.

Particulele din nucleu sînt aproape la fel de grele (cîntăresc de 1 840 ori mai mult decît electronii).

Trebuie reținut un fapt foarte important, și anume că această materie nucleară, formată numai din nucleoni, căreia i se mai spune „fluid nuclear“, are o densitate extrem de mare (cîteva sute de milioane de tone pe centimetrul cub). Acest fapt necesită, în primul rînd, existența unor forțe de legătură colosal de mari între particulele din constituția nucleului și, în al doilea rînd, implică o degajare sau o absorbție de energie extraordinar de mare în momentul în care sînt prilejuite schimbări în componența nucleară.

Pentru a ne face o idee despre uriașa cantitate de energie ce se degajă atunci cînd se produc asemenea schimbări în componența nucleară, este suficient să cităm reacția edificatoare și în același timp cea mai eficientă din punct de vedere energetic, și anume sinteza nucleului de heliu din nuclee de tritii și deuteriu.

La sinteza unui kilogram de heliu se degajă aproximativ 150 000 000 kWh de energie electrică, ceea ce echivalează cu cantitatea de căldură degajată prin arderea a aproximativ 150 000 t de cărbune. Pentru declanșarea acestei reacții este însă nevoie ca într-un interval de timp aproximativ egal cu a zecea milioana parte dintr-o secundă să se producă o temperatură de cîteva zeci de milioane de grade. Numai în aceste condiții nucleele de deuteriu și tritii, cu sarcini de același fel, capătă viteza necesară pentru a învinge forța electrostatică de respingere care acționează între ele și în cele din urmă fuzionează.

Constituția unui nucleu nu se poate modifica ușor în condițiile naturale existente pe Pămînt, făcîndu-l să reacționeze cu un alt nucleu (așa cum se întîmplă, de exemplu, atunci cînd se realizează în mod natural sau se provoacă o reacție chimică între două molecule ai căror atomi se distribuie în alt mod pentru a da naștere altor tipuri de molecule).

Sarcinile pozitive din nucleu, fiind îngrămădite într-un spațiu extrem de mic ocupat în interiorul atomului, dau naștere unor cîmpuri electrice extrem de puternice.

Reacția nucleară care ar putea să ducă la o altă distribuție (aranjare) a nucleonilor, formîndu-se nucleu noi, nu poate să aibă loc, deoarece acțiunea forțelor nucleare nu se manifestă decît numai atunci cînd nucleele sînt foarte apropiate.

Prin urmare, pentru a învinge respingerea electrostatică creată de aceste cîmpuri, este necesar ca particulele respective să aibă o agitație termică care, după cum s-a arătat ceva mai înainte, să corespundă la milioane de grade pentru



nucleele cu mai puțini protoni, iar în cazul nucleelor cu protoni mai mulți chiar la miliarde de grade.

Globul pământesc nu oferă asemenea posibilități. Aici temperatura medie este relativ foarte mică. În asemenea condiții, nucleele stabile se comportă ca niște adevărate citadele, influențate destul de greu sau aproape de loc de mediul exterior nucleului.

Grupări de protoni și de neutroni, deosebite de acelea care duc la nucleee stabile, formează nucleee care tind în mod spontan să se transforme în altele nestabile.

Nestabilitatea nucleelor se definește prin timpul necesar unei formații din acești atomi nestabili pentru a scădea, prin dezintegrare, numărul lor la jumătate.

În scoarța globului terestru se găsesc câteva tipuri de nucleee nestabile. Aceste nucleee au timpul de înjumătățire atât de mare, încît, cu toată vîrsta Pămîntului de vreo 3 miliarde de ani, au mai rămas încă mulți atomi de acest tip în scoarța sa<sup>1</sup> și poate și mai în adîncime, care nu au avut încă timpul necesar să se transforme complet. Dintre aceste nucleee putem cita: nucleeele de uraniu-235; uraniu-238, toriu-232, samariu-148 și altele.

Nucleeele acestor elemente au diferite timpuri de înjumătățire, din care unele de ordinul vîrstei Pămîntului, iar altele cu mult mai mari. Tocmai slaba lor radioactivitate a făcut ca aceste elemente să mai poată fi găsite în scoarța terestră. Datorită acestui fapt s-a putut descoperi la finele secolului al XIX-lea fenomenul de radioactivitate.

În scoarța terestră a rămas încă mult uraniu și, de asemenea, mult toriu, elemente care servesc astăzi drept combustibil nuclear pentru obținerea energiei eliberate într-un mod nou.

Elementele ce apar ca stabile pe Pămînt (care este un astru rece), în afara Pămîntului, în alte regiuni ale universului, pe alte corpuri cosmice sau în interiorul lor, și anume acolo unde sînt temperaturi extraordinar de mari, pot suferi transformări foarte importante, cauzate chiar de mediul exterior. Astfel, în Soare, în centrul căruia temperatura atinge 20 000 000°C, sau în stelele gigante, unde se atinge fantastica temperatură de aproximativ 35 000 000°C, agitația termică este suficient de mare pentru ca nucleeele mai ușoare să se apropie convenabil și reacțiile nucleare să aibă loc.

Aceste reacții termonucleare degajă energii de multe milioane de ori mai mari decît cele obținute prin reacțiile chimice provocate de noi sau care se efectuează în mod natural pe Pămînt ori în scoarța lui.

Astfel, din studiul reacțiilor nucleare proton-proton sau a celor din ciclul azot-carbon (efectuate în Soare și soldate cu producerea unui atom de heliu din patru atomi de hidrogen) s-a constatat că 55% din masa Soarelui este dată de hidrogenul din constituția sa. În Soare se transformă în heliu 500 de miliarde kg de hidrogen pe secundă, cu degajarea a 150 de miliarde de calorii pe fiecare gram de hidrogen transformat. În acest fel se explică marea cantitate de ener-

<sup>1</sup> Produsele de dezintegrare pe care le mai găsim încă în echilibru radioactiv pot să aibă timpul de înjumătățire oricît de mic.



gie distribuită de peste 4—5 miliarde de ani de când există Soarele și aceea pe care o va mai radia cu siguranță încă cel puțin 10 miliarde de ani, datorită rezervei sale de hidrogen.

În prezent, oamenii de știință au reușit efectuarea de reacții nucleare artificiale obținând informații extrem de prețioase asupra comportării nucleelor, putându-se evalua energiile degajate în cursul desfășurării reacțiilor (între 200 000 000 și 10 miliarde eV).

Pe baza cunoașterii, pe de o parte, a fenomenelor de acest gen, a energiilor de acest ordin, precum și pe baza altor reacții din ce în ce mai complicate, iar pe de altă parte pe baza mecanicii cerești, a astronomiei stelare, a cosmogoniei, a cosmologiei și mai cu seamă a astrofizicii, oamenii de știință au încercat să deschidă poarta prin care să privească obiectele cosmice, începînd încă de la particulele elementare, pe care le-au cunoscut în urma reacțiilor artificiale realizate aici pe Pămînt, și terminînd cu galaxiile și metagalaxiile universului.

Ei s-au convins că numai adîncurile nucleului atomic dezvăluie astăzi tainele proceselor grandioase ale universului și că nu există o cale unică de dezvoltare, de pildă, a galaxiilor sau a tuturor stelelor, ci, dimpotrivă, există o mulțime de căi, foarte diferite, care adesea au prea puține elemente comune.

Știința modernă rezolvă astăzi cu succes atît problemele microcosmului cît și cele ale macrocosmului.

S-a arătat că materia interstelară nu a putut fi studiată fără a se ține seama de stelele aflate în ambianța ei și că, în afară de meteoriți, toți aștrii cerești nu pot fi observați decît numai prin radiațiile ce ne vin de la ei. În cazul Soarelui s-a putut totuși studia și radiația sa corpusculară, în special prin efectele ei indirecte. Pentru restul aștrilor, oamenii de știință nu au la dispoziție decît radiația lor electromagnetică, care poate străbate atmosfera pămîntească, de la ultraviolet ( $0,29 \mu$ ) la infraroșu (peste  $0,8 \mu$ ) și numai în parte (la  $15 \mu$ ) în infra-roșul mai îndepărtat.

Recent, cu ajutorul rachetelor trimise deasupra păturii de ozon, s-au obținut spectre ale Soarelui pînă la  $0,1 \mu$ , iar cu ajutorul tehnicii radioastronomiei s-au putut studia radiațiile electromagnetice de la circa 1 cm pînă la 16—20 m lungime de undă.

Dezvoltarea radioastronomiei a adus de asemenea o contribuție însemnată în cercetarea Soarelui și a materiei interstelare, precizînd foarte multe fapte importante în problema structurii galaxiei.

Astrofizicienii au și arătat nu prea de mult că materia cosmică se găsește mai ales într-o stare specială de agregare — „plasma” — un fel de gaz în întregime sau parțial ionizat.

În ultima vreme s-a pus însă în fața fizicii problema stării supradense a materiei. Firește că concluziile cosmogoniei contemporane vor avea o însemnătate și mai mare pentru științele care studiază Pămîntul, remarcînd că multe probleme privitoare la starea actuală a Pămîntului, inclusiv probleme pur practice, nu vor putea fi rezolvate fără folosirea datelor care privesc alte elemente constitutive ale sistemului solar.

Microcosmosul, macrocosmosul și megacosmosul nu trebuie concepute după principiul unor forme care intră perfect una în alta, deosebindu-se numai ca



dimensiuni, ci, dimpotrivă, fiecare din aceste lumi își are particularitățile sale calitative. Aceste lumi nu apar separate una de alta prin prăpăstii de netrecut.

Procesele de formare și dezvoltare a stelelor nu pot fi cercetate fără studierea proceselor care au loc înăuntrul atomului, iar originea și dezvoltarea atomilor nu pot fi înțelese în afara problemelor care privesc formarea și dezvoltarea stelelor.

Pentru aceasta apare necesar o scurtă prezentare a principalelor corpuri cosmice din care să rezulte unele particularități ale materiei cosmice, particularități care nu se pot manifesta în condițiile terestre. Vom începe, așadar, cu sistemul solar.

**Sistemul solar.** Din acest sistem fac parte Soarele și nouă planete „mari” (una din ele este globul nostru pământesc), 31 de sateliți, mii de planete mici,  $10^{11}$ — $10^{12}$  comete și materie meteorică.

**Soarele.** Sfera de acțiune a Soarelui are o rază de 100 000—150 000 unități astronomice<sup>1</sup>, adică  $1,5 \cdot 10^{10}$ — $2 \cdot 10^{10}$  km.

El însuși este o stea cu o rază de 695 000 km (de 109 ori mai mare decât a Pământului) și cu o masă de circa  $2 \cdot 10^{33}$  g., ceea ce este egal cu 332 000 de mase terestre, reprezentând 99,87% din masa sistemului solar cu planete cu tot. Densitatea medie a Soarelui este egală cu  $1,41$  g/cm<sup>3</sup>. În stratele lui superficiale materia este mai rarefiată, iar în adâncurile lui este cu mult mai densă.

\* Luminozitatea Soarelui este de  $3,8 \cdot 10^{33}$  erg/s.

Temperatura suprafeței solare este de aproximativ 6 000°C, mai în adâncime 13 000 000°C, iar la centrul său 20 000 000°C.

Compoziția chimică a Soarelui este în general asemănătoare cu a altor stele. În spectrul radiației solare s-au găsit liniile de absorbție a 65 de elemente chimice din sistemul periodic (nu s-a reușit să se găsească încă liniile celorlalte elemente).

Cel mai abundent element în Soare este însă hidrogenul, care constituie aproximativ 55% din masa sa; urmează apoi heliul, căruia îi revine 44%, și, în sfârșit, celelalte elemente, cărora le revine abia 1%.

Atmosfera solară conține însă 81,70% H, 18,17% He, 0,03% O, 0,02% Mg, 0,01% N, 0,006% Si, 0,003% C, 0,0008% Fe și 0,0003% Ca.

Se consideră astăzi unanim că sursa de energie a Soarelui și a altor stele se datorește reacțiilor termonucleare, cu eficiența cea mai mare pentru adâncurile Soarelui fiind reacțiile proton-proton; pentru stelele cu strălucirea cea mai mare și în același timp și cu masa cea mai mare, sursa de energie cu eficiența maximă este atribuită reacțiilor nucleare cunoscute sub numele de ciclul carbon-azot.

În orice caz, ambele tipuri de reacții se realizează cu același rezultat: apariția heliului din patru atomi de hidrogen.

În ultima vreme s-a sugerat ideea că la unele stele, între care și Soarele, eliberarea de energie s-ar produce datorită unor procese de dezagregare a unei substanțe protostelare.

În tot cazul, din măsurările directe și indirecte se presupune că substanța solară se află aici în stare de plasmă.

<sup>1</sup> O unitate astronomică este egală cu depărtarea medie de la Pământ la Soare.



În interiorul acestei substanțe, mișcarea electronilor și a ionilor într-o anumită direcție echivalează cu apariția curentului electric, de care este în același timp legată apariția cîmpului magnetic. Acesta, acționînd asupra particulelor încărcate, le dirijează în spirală de-a lungul liniilor de forță și împiedică astfel mișcarea în direcția transversală. Caracterul mișcării căpătate se deosebește complet de mișcarea în cîmpul gravitațional, prin faptul că apar și se distrug repede cîmpuri electromagnetice locale. În același timp au loc procese de ionizare și de recombinare, în cursul cărora electronii sînt captați de ioni, aceștia transformîndu-se în atomi. Firește că un asemenea proces poate fi însoțit de schimbarea cîmpului și poate conduce la explozii de mari proporții soldate cu expulzarea de substanță din masa Soarelui.

Coroana solară are o densitate scăzută și, din cauza unei temperaturi de  $10^6$  —  $2 \cdot 10^6$  °C, toți atomii sînt aproape în întregime ionizați, formînd fluxuri de particule purtătoare de sarcini, denumite radiațiile coroanei stelare, care se propagă pe distanțe uriașe, provocînd tot felul de acțiuni componentilor sistemului solar.

*Planetele sistemului solar.* Acestea s-au format aproximativ în același timp, în urmă cu aproximativ 4,5—5 miliarde de ani.

Ele se împart în planete mici și planete gigante.

Planetele mici — Pămîntul, Mercur, Venus și Marte — au raze care variază de la  $2,5 \cdot 10^3$  km (Mercur) pînă la  $6,39 \cdot 10^3$  km (Pămîntul), au mase mici ( $0,3 \cdot 10^{27}$ — $6 \cdot 10^{27}$  g) și densități medii relativ mari ( $3,9$ — $5,5$  g/cm<sup>3</sup>).

Din punct de vedere chimic-mineralogic, zonele lor superficiale sînt constituite mai cu seamă din minerale solide. Atmosferele lor sînt relativ rarefiate. În ceea ce privește concordanța elementelor din Soare și Pămînt, s-a arătat că, de exemplu, metalele cele mai răspîndite în Soare sînt și cele mai răspîndite pe Pămînt, iar hidrogenul, heliul, carbonul și azotul, în care Soarele este foarte bogat, sînt în cantități mici pe Pămînt.

Planetele gigante sînt cele mai depărtate de Soare. Au raze de 9,5 ori (Saturn) pînă la 11,2 ori (Jupiter) mai mari decît raza Pămîntului, mase de 95—318 ori mai mari decît masa Pămîntului, iar densitățile lor medii sînt mici (între 2,5 și 0,7 g/cm<sup>3</sup>).

Atmosferele lor conțin strate groase de nori.

În general ele sînt constituite mai ales din hidrogen și dintr-o oarecare cantitate de heliu în amestec cu alte elemente mai grele.

În spectrele lor s-au descoperit zone de absorbție a metanului (CH<sub>4</sub>) și amoniacului (NH<sub>3</sub>).

*Sateliiții planetelor sistemului solar.* Sînt în total 31 și se împart, după dimensiunile lor, în trei grupe:

Grupa întîi cuprinde sateliții mari, de tipul Lunii, cu raze  $1,5 \cdot 10^3$ — $2,5 \cdot 10^3$  km. Grupa a doua cuprinde sateliții cu raze de cîteva sute de kilometri, iar grupa a treia cuprinde sateliții cei mai mici.



Luna este complet lipsită de atmosferă, iar suprafața ei este acoperită cu lanțuri de munți inelari ca rezultat al unei puternice activități, după cît se pare vulcanice, care a avut loc odinioară în Lună și care mai are loc și astăzi.

Ca și Luna, aproape toți sateliții celorlalte planete sînt lipsiți de atmosferă; Titan, satelitul cel mai mare al planetei Saturn, are totuși o atmosferă, formată din metan ( $\text{CH}_4$ ) și amoniac ( $\text{NH}_3$ ).

Ca o particularitate recunoscută a suprafețelor marilor sateliți ai lui Iupiter trebuie menționat și faptul că acestea oferă o capacitate de reflexie foarte mare, comparabilă oarecum cu reflexia gheții sau a zăpezii.

*Cometele.* Sînt constituite dintr-un cap, un nucleu învelit de o materie nebuloasă și o coadă. Studiile făcute au arătat că în capul cometelor există carbon, cian (CN), precum și alte cîteva molecule nestabile din punct de vedere chimic, dar care, de fapt, sînt produse de dezagregare ale unor molecule inițiale, mai complexe, aflate în nucleul cometelor.

În capul cometei se găsesc adesea și fragmente fine de pulberi.

Cozile cometelor sînt formate din molecule ionizate de oxid de carbon și azot, din carbon și cian (CN) sau din pulberi. Este interesant de citat faptul că moleculele de gaz și particulele fine de pulberi care ajung din capul cometei către coadă părăsesc pentru totdeauna cometa; capul cometei își reinnoiește complet compoziția în cîteva ore, în timp ce compoziția cozii se reinnoiește abia în cîteva zile.

Nucleele cometelor au mase în medie de  $10^{12}$ — $10^{16}$  g și sînt constituite, după unele ipoteze, din aglomerate de bulgări pietroși, din gaze (metan și amoniac) înghețate (solidificate) și din gheață obișnuită, adesea cu impurități de pulbere foarte fină.

În cazul în care cometa trece prin apropierea Soarelui, se produce evaporarea ghețurilor sub acțiunea căldurii și luminii solare, dar mai cu seamă sub acțiunea bombardării nucleului cu substanță corpusculară solară. Evaporarea acestei gheți cu diferite impurități are o deosebită importanță în determinarea diferitelor forme de comete.

*Materia meteoritică.* Apare în sistemul solar în mare cantitate sub formă dispersă, cu aspect fărîmițat și pulberulent, de dimensiuni variind între cîteva microni și cîteva milimetri sau centimetri. Unele particule meteorice au o densitate de ordinul a  $0,1 \text{ g/cm}^3$ , amintind cristalele mici de gheață sau fragmentele fine poroase de pulberi purtate în spațiul interplanetar.

Unele corpuri meteorice au dimensiuni de ordinul a zeci de centimetri sau chiar de cîteva metri și cad adesea pe Pămînt sub forma așa-zisilor meteoriți. Cei mai mulți meteoriți sînt pietroși (chondrite), unii sînt numai fieroși (siderite) sau pietroși și fieroși (siderolite).

Înainte de a trece la galaxie și metagalaxie, este necesar să spunem cîteva cuvinte și despre procesele de dezvoltare din sistemul solar; aceasta cu atît mai mult, cu cît, pînă nu de mult, se considera că ritmul proceselor de dezvoltare a planetelor din sistemul nostru solar este de fapt staționar sau în orice caz extrem de lent. Cercetările întreprinse (destul de minuțioase și foarte înaintate) ne permit să înțelegem însă adevărata istorie a sistemului solar. În sprijinul pro-



cesului de dezvoltare a sistemului solar se aduc argumente foarte importante, ca, de exemplu, date certe relative la marea cantitate de pulberi în atmosfera lui Venus, prezența  $\text{CO}_2$  în această atmosferă în cantități ce depășesc de sute de ori pe cele din atmosfera terestră, temperaturile scăzute pe suprafețele vizibile ale unor planete sau temperaturile ridicate pe suprafețele altora, ori în sfârșit, alte argumente, de alt ordin, care în cele din urmă justifică veracitatea proceselor de dezvoltare ce au loc în sistemul nostru solar.

**Galaxia.** Sistemul nostru solar nu este singur pe bolta cerească, ci e încadrat într-un roi gigantic de corpuri cosmice (stele) de diferite tipuri sau din asociații din alte roii de stele, din nebuloase gazoase și pulberulente și de asemenea din diferiți atomi și particule. Un asemenea sistem astfel constituit și cu o dinamică a sa proprie se numește galaxie. Galaxia din care face parte sistemul nostru solar, Calea Laptelui, are forma unei spirale cu un diametru de aproximativ 30 000 parseci<sup>1</sup> și se rotește în jurul unei axe care trece prin centrul ei.

Galaxia noastră, după cât se cunoaște, cuprinde un foarte mare număr de stele, aproximativ egal cu  $1 \cdot 10^{11}$ — $1,5 \cdot 10^{11}$ , cu o masă totală de  $2,6 \cdot 10^{44}$  g ( $1,3 \cdot 10^{11}$  mase solare). Masa materiei gazoase nu depășește 2% din masa galaxiei; masa materiei pulberulente este cu mult mai mică (de 10 ori mai mică).

Constituenții galaxiei sînt deci: stelele și materia difuză.

**Stelele.** Acestea sînt corpuri cosmice cu lumină proprie. Strălucirea lor este foarte variabilă. Unele au străluciri care o întrec pe cea a Soarelui de zeci și sute de mii de ori, în timp ce altele, prezintă o strălucire mai mică decît a Soarelui.

Razele lor variază de la raze de ordinul razei Lunii pînă la raze de 2 000 ori mai mari decît raza Soarelui.

Masele lor variază între o zecime din masa Soarelui pînă la cîteva zeci de mase solare. Din acest punct de vedere se remarcă faptul că, cel puțin în seria principală, pe măsura trecerii la stele cu masă mai mare, crește luminozitatea, raza și temperatura superficială.

Stelele uriașe și cele suprauriae au o densitate foarte mică, uneori chiar mai mică decît densitatea aerului, în timp ce la stelele pitice (albe) se observă densități medii extraordinar de mari (aproape  $0,5 \text{ t/cm}^3$ ).

În studiul stelelor, spectrele radiațiilor emise de acestea sînt de un deosebit interes în ceea ce privește componența chimică. Spectrele stelelor constau din numeroase linii de absorbție pe un fond continuu. Unele dintre ele, puține de altfel, prezintă și linii luminoase de emisiune. Stelele „staționare“ emit radiații calorice, în timp ce așa-numitele stele nestaționare nu emit astfel de radiații.

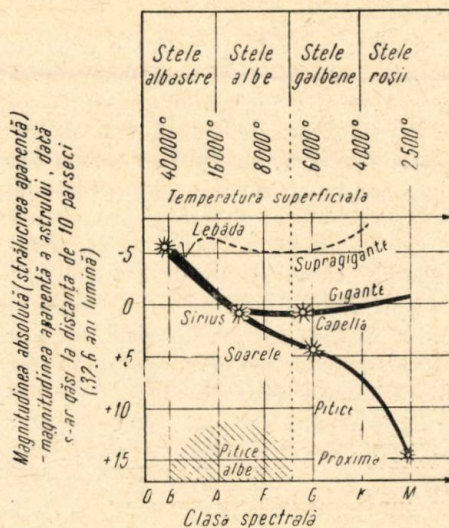
Studiul stelelor a dus la o serie de concluzii foarte importante, dintre care cităm numai pe acelea care ușurează înțelegerea procesului de geneză a elementelor, astfel: creșterea strălucirii nu implică creșterea temperaturii stratelor superioare ale stelei; pot exista două stele cu spectre absolut identice; spectrele lor se dispun într-o serie care se împarte în clase notate cu literele O, B, A, F,

<sup>1</sup> Parsec — unitate de distanță astronomică egală cu  $3 \times 10^{13}$  km ( $10^{13}$  km = un an lumină).



G,K,M (fig.1) și apoi în subclase<sup>1</sup>; temperaturile suprafețelor sînt factorul esențial care determină deosebiriile dintre spectre. Stelele cele mai fierbinți, care fac parte din clasa spectrală O, ating temperaturi pînă la 40 000°C, iar cele mai reci între 1 000 și 2 000°C. Soarele, a cărei temperatură superficială, este, după cum s-a mai spus — de aproximativ 6 000°C, face parte din clasa spectrală G.

Fig. 1. Diagrama spectru-luminozitate.



În această ordine de idei trebuie menționat că s-a stabilit o strînsă relație între temperatură, deci clasa spectrală a stelei, și culoarea ei (fig. 1).

Cele mai fierbinți sînt stelele albastre; urmează apoi stelele albe-gălbui și, în sfîrșit, cele roșii.

Din punctul de vedere al compoziției chimice a stelelor trebuie spus că aceasta este în primul rînd asemănătoare cu a Soarelui, cu mențiunea că stelele conțin de mii de ori mai mult hidrogen și heliu decît orice alte elemente luate la un loc. În al doilea rînd, în ceea ce privește elementele grele, acestea au un grad de răspîndire asemănător gradului de răspîndire de pe Pămînt; totuși, se întîlnesc stele, cam 1% din numărul total, care prezintă unele deosebiri, de exemplu unele au mai mult litiu, altele au mai mult bariu sau altele au mai mult zirconiu, titan etc.

În ceea ce privește cîmpul lor magnetic, trebuie relevat faptul că, deși numai la unele stele s-au descoperit cîmpuri magnetice, trebuie luate totuși în considerare și rezultate mai noi, după care fiecare stea ar avea un cîmp magnetic.

<sup>1</sup> Se mai cunosc clasele W (stele puține și foarte depărtate, albe-albastrii, uneori asociate cu nebuloase și avînd temperaturi superficiale medii de 50 000°), O (stele calde bogate în heliu ionizat), R (stele galbene închise cu temperatura superficială de 3000°), S (stele uriașe conținînd zirconiu).



Stele variabile sînt acelea a căror strălucire este supusă oscilației. Din acest punct de vedere, ele se împart în pulsante și eruptive. Stelele pulsante se contractă și se dilată periodic. Cînd ele se contractă, devin mai fierbinți și strălucirile lor cresc, iar cînd acestea se dilată, fenomenul se petrece invers; firește că, în același timp, și condițiile fizice din profunzimea lor se schimbă.

Toate stelele pulsante sînt gigante albe, galbene și roșii cu perioade de pulsație variabile.

Stelele variabile cu modificări neregulate ale strălucirii se numesc nestaționare. Modificările strălucirii denotă că în spectrele lor se observă linii strălucitoare și o puternică emisiune continuă.

S-au descoperit stele variabile „care se aprind“. Acestea au de obicei o strălucire minimă, iar apoi se aprind brusc pentru o perioadă de timp de ordinul minutelor. Strălucirea lor în acest timp crește uneori de zeci de ori și este însoțită de emisiuni puternice și continue.

O stea care a existat și mai înainte, dar a cărei strălucire crește neobișnuit de repede, de zeci și sute de mii de ori, se numește *novă*<sup>1</sup>.

Aprinderile novelor au caracterul unor explozii care se produc sub acțiunea unor profunde cauze interne. Cu această ocazie învelișul stelei se dilată și în cele din urmă survine dispersia în spațiul înconjurător (de obicei a mia parte din masa substanței stelare).

Cînd strălucirea unor stele crește de miliarde de ori în timpul aprinderii, ele poartă denumirea de supernove<sup>2</sup> (sau supranove). Explozia unei supernove aruncă, de regulă, în spațiul interstelar o foarte mare parte a corpului stelei cu o viteză extraordinar de mare. În locul ei rămîne o pitică albă. Strălucirea unei supernove în acest caz, în punctul ei culminant, depășește de obicei strălucirea galaxiei în care este situată steaua. Exploziile supernovelor sînt însoțite de foarte multe reacții nucleare.

Fiecare stea, pe lîngă emisiunea obișnuită de lumină, emite și fluxuri corpusculare, care, ca și în cazul Soarelui, au, desigur, un anumit rol în pierderea de masă.

Între principalele caracteristici ale stelelor s-au stabilit raporturi bine determinate. Astfel, printre aceste raporturi am putea cita, de exemplu, relațiile care există între temperatură (tipul spectral) și luminozitatea ei, puse foarte bine în evidență de diagrama „spectru-luminozitate“. Pe această diagramă stelele se dispun în majoritatea cazurilor după niște benzi înguste, formînd așa-numitele serii. Printre aceste serii am putea cita seria sau secvența principală care începe cu gigante, stele albastre fierbinți cu mase uriașe pînă la pitice, stele roșii și

<sup>1</sup> Stele de 5—10 ori mai mici ca Soarele, dar cu luminozitate de ordinul Soarelui. Exploziile lor se datoresc, după unele teorii, reacțiilor nucleare, iar după altele reconstruirii bruște a stratelor ei exterioare și, în legătură cu aceasta, eliberarea excesului de energie termică gravitațională.

<sup>2</sup> Se numesc astfel aceleași stele ca și novele, însă explozia cuprinde o parte însemnată a stelei sau chiar întreaga stea. Explozia unei supernove se produce o singură dată în viața sa. Procesul exploziv se datorește acelorași cauze ca și la nove, și se presupune chiar că în supernove se formează nuclee neutronice superdense și chiar nuclee hiperonice.



cu mase relativ mici sau seria supragigantelor pînă la gigantele galbene; sau, în sfîrșit, alte serii (care pot fi văzute în figura 1).

*Materia difuză.* În afară de stele, în compoziția galaxiei intră și *materie difuză*, sub formă de pulberi și de gaz rarefiat. Materia difuză prezintă de obicei o densitate neomogenă, constituind pe alocuri nebuloase de cîteva diferite tipuri. Astfel, se cunosc:

Nebuloase difuze cu forme neregulate, luminoase sau întunecate. Densitatea gazului în aceste nebuloase poate varia de la cîteva zeci de atomi/cm<sup>3</sup> (adică 10<sup>-23</sup> g/cm<sup>3</sup>), pînă la 100—300 atomi/cm<sup>3</sup> (adică 10<sup>-22</sup> g/cm<sup>3</sup>), dar se poate să existe chiar un atom/cm<sup>3</sup> în cele mai rarefiate nebuloase.

Spectrele acestor nebuloase arată liniile hidrogenului (predominant), heliului, oxigenului ionizat și ale altor gaze.

Pare probabil că, atunci cînd gazul din învelișul în explozie al unei stele formează nebuloasa difuză, descompunerea californiului-254 (timp de înjumătățire: 55 de zile) produce mult mai multă energie decît aceea ce se obține din descompunerea vreunui alt element cu timpul de înjumătățire aflat între cîteva zile și cîtiva ani.

Adeseori nebuloasele au o structură fibroasă fină, care poate fi explicată prin aceea că nebuloasa care se dilată se află într-un cîmp magnetic. Unele nebuloase difuze sînt surse de unde radio.

Nebuloase planetare în formă de disc, inel sau spirală. Acestea au, de fapt, miezul lor în centrul de simetrie al unei stele, căreia îi datoresc și luminescența lor. Masele lor nu depășesc 0,1 — 0,2 mase solare, iar densitățile lor sînt în jurul a 10<sup>-20</sup>—10<sup>-22</sup> g/cm<sup>3</sup>. Compoziția lor chimică este asemănătoare cu a Soarelui, toate fiind formate din hidrogen, heliu, oxigen, azot și alte elemente. Acest tip de nebuloase se caracterizează printr-o temperatură extraordinar de mare, cuprinsă între 30 000°C — 100 000°C, care, deși au aceste temperaturi, au totuși o luminozitate foarte redusă.

Nebuloase în formă de cometă (cometare) cu forme de evantai. Acestea au la capătul lor ascuțit o stea, de obicei variabilă. Prezintă un spectru continuu a cărui energie continuă se datorește stelei în anumite porțiuni.

Radionebuloasele. Acestea se datoresc unor resturi de explozii ale unor supernove care emit puternice unde radio. Masele lor difuze emit un spectru continuu, fără nici un fel de linii de absorbție.

În mediul interstelar, în afară de nebuloase, aproape peste tot în galaxie există un gaz rarefiat, format din 90% hidrogen și pulberi. Densitatea medie a gazului este de 5 · 10<sup>-24</sup> g/cm<sup>3</sup>, ceea ce revine la aproximativ un atom de hidrogen pe centimetru cub. Atomii hidrogenului interstelar se găsesc mai ales în stare neutră, însă în apropierea planului galactic se produce mai totdeauna ionizarea lor, ceea ce face ca în acest caz să se producă un gaz electrono-protonic care emite puternice unde radio.

În ceea ce privește structura galaxiei și dinamica ei, trebuie să spunem că stelele formează în spațiu sisteme multiple de stele în trapez sau lăntșor, roiuri de stele deschise, difuze și globulare, sau populații de stele cu caractere fizice bine distincte. Structura galaxiei se remarcă printr-o formă spirală cu cel puțin 3 sau 4 brațe neomogene, formate din diferite condensări și asociații



alcătuite din gigante fierbinți (O, B). Din nucleul ei se expulzează puternic hidrogen cu o viteză de circa 50 km/s și se crede că în milioane de ani poate fi ejectată o masă de ordinul a sute de mii de mase solare.

Dinamica galaxiei este determinată în general de legea gravitației universale, dar, spre deosebire de sistemul solar, în galaxie nu există un corp central unic care, în cele din urmă, să determine mișcările sistemului. Aici câmpul gravitațional este determinat de totalitatea elementelor constitutive, și din această cauză rotația, în general, are un caracter mai complicat.

În cazul galaxiei, ca și în cazul sistemului solar, se poate vorbi despre procese de dezvoltare a elementelor constitutive ale galaxiei, mai ales că în ultima vreme s-au obținut numeroase date privitoare la aceste procese, date care permit să se infirme modul de evoluție lentă, așa cum s-a crezut pînă nu de mult și să se confirme pe deplin procesele nestatice în dezvoltarea sistemelor galactice, în ritmuri cu mult mai rapide, dar variate.

**Metagalaxia.** Este sistemul care, după cît se cunoaște astăzi, închide peste un miliard de galaxii, în general asemănătoare sistemului nostru galactic. Galaxia noastră este și ea, prin urmare, una din insulele metagalaxiei, ale sistemului care are ca parte componentă universul „astronomic”. Distanțele dintre galaxii sînt evaluate la 500 000 de parseci, iar spațiul dintre ele este umplut cu un mediu extrem de rarefiat și pe deasupra mai conține și stele expulzate din galaxii (extragalactice) sau altele expulzate din sistemele lor stelare.

Metagalaxia este constituită din galaxii și populații de galaxii, dintre care un deosebit interes prezintă radiogalaxiile și galaxiile albastre.

**Galaxiile.** Au forme eliptice, spirale neregulate cu dimensiuni cuprinse între 7 000—40 000 de parseci și au un număr variabil de stele (între  $10^7$ — $10^{12}$ ), cu masele lor evaluate la  $10^{42}$  și  $10^{45}$  g ( $10^9$ — $10^{12}$  mase solare).

**Populațiile de galaxii.** Pot fi și ele de tipul I (toate galaxiile au brațe spirale) sau de tipul II (toate au forme eliptice).

**Radiogalaxiile.** Dintre acestea unele emit unde radio, de obicei slabe, altele, din contra, emit unde deosebit de intense. Se cunosc și în acest caz mai multe tipuri de asemenea galaxii.

**Galaxiile albastre** sînt, în fond, sateliții unor galaxii eliptice.

Referindu-ne la structura și la dinamica metagalaxiei, trebuie spus că în ceea ce privește structura, acestea se caracterizează printr-o extremă neomogenitate, rezultată dintr-o distribuție neregulată a elementelor sale constitutive. Galaxiile universului „astronomic” formează adesea sisteme mai mult sau mai puțin complicate, care, reacționînd între ele, se întrepătrund și din acțiunea unora asupra altora rezultă o serie de fenomene, ca, de exemplu, umflări, distrugerii sau alte fenomene, manifestate prin emiteri de gaze și pulberi cu efecte luminescente.

Pe baza unor măsurători exacte se arată astăzi că în metagalaxie au loc, ca și în celelalte sisteme, procese ale căror caractere de dezvoltare sînt evidente. Faptul s-a relevat într-adevăr atunci cînd s-a arătat că liniile spectrale ale mai tuturor galaxiilor sînt deplasate spre lungimi de undă mai mari („deplasarea spre roșu”) în comparație cu poziția lor rezultată din determinările terestre. Prin anul 1930 s-a arătat chiar că „deplasarea spre roșu” este direct proporțio-



nală cu distanța de la galaxie pînă la noi și că ea se poate calcula dintr-o relație matematică, foarte simplă, de forma:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = Hr,$$

în care  $H$  este o constantă (a deplasării spre roșu), iar  $r$  este distanța pînă la galaxie.

Întrucît cea mai plauzibilă explicație a deplasării liniei spectrale este mișcarea sursei de lumină de-a lungul razei vizuale, s-a arătat că, dacă liniile sînt deplasate spre zona violetă a spectrului, sursa se apropie de noi, iar dacă liniile spectrale se deplasează spre zona roșie, sursa se îndepărtează de noi. Deplasarea este cu atît mai mare, cu cît viteza sursei de lumină este mai mare, și ea poate fi calculată dintr-o relație de forma  $v = c \frac{\Delta\lambda}{\lambda}$ , în care intervine factorul  $c$ , viteza luminii.

Pe baza acestor considerente se conchide astăzi că acest fenomen al „deplasării spre roșu” este o mărturie că galaxiile cele mai distanțate se îndepărtează de noi cu viteze aproximativ proporționale cu distanțele lor.

În ultimul timp s-a arătat că există galaxii care se îndepărtează de noi cu o viteză de 120 000 km/s și se bănuiește că viteza crește și mai mult atunci cînd distanța se mărește în continuare.

Concluzia care se desprinde net de aici este că și metagalaxia se află într-o continuă expansiune.

În legătură cu substanța componentă a acestor galaxii și metagalaxii foarte îndepărtate, unii cred astăzi că tocmai aici își găsește sediul „antimateria”, materia alcătuită din nuclee „negative” (compuse din antineutroni și antiprotoni, adică particule cu aceeași masă ca și protonul, dar cu sarcină negativă) și din pozitroni (electroni încărcăți cu sarcini pozitive).

Astfel de atomi nu sînt stabili acolo unde se găsesc atomii „obișnuiți”, deoarece atît antiprotonul în ciocnire cu un proton dispăre cu emisiune electromagnetică și de asemenea și un pozitron în ciocnire cu un electron dispăre cu aceleași efecte.

Aceasta este, pe scurt, structura micro-, macro- și megacosmului, cele trei lumi în care creierul omenesc a reușit, mai întîi cercetînd atomul, să se infiltreze în microcosmos și în cele din urmă, studiind stelele, să se extindă în spațiul cosmic.

Pe această cale, omul zilelor noastre — preocupat de rezolvarea pe bază științifică a problemelor legate de istoria și economia planetei noastre a început să-și răspundă la cele mai grele întrebări pe care ar fi putut să și le pună vreodată. Printre ele se află — la loc de frunte — una care privește modul în care s-au născut elementele chimice, pe Pămînt și în cosmos.

Desigur că de multă vreme s-a căutat să se dea un răspuns la această întrebare și desigur că un oarecare răspuns a fost dat, însă totdeauna la nivelul cunoștințelor fiecărei epoci și de vreo două sute de ani încoace, apelînd la ajutorul chimiei.



Astăzi se pare că a venit rîndul fizicii să dea un răspuns precis la această întrebare. Aceasta cu atît mai mult, cu cît fizica este aceea care a fundamentat periodicitatea elementelor, pe care o consideră azi ca o bază a cercetărilor sale, și tot ea este aceea care a reușit să pătrundă în nucleul atomului, ca și în spațiul cosmic (planșa I).

Fizica arată astăzi că stratele superioare ale atmosferelor majorității stelelor au aceeași compoziție chimică neînțelegîndu-se de aici că în miezul tuturor stelelor compoziția chimică este aceeași. Fizica arată că în atmosferele stelelor predomină hidrogenul și heliul și că oxigenul se găsește în proporție de 1 atom la 2 000 de atomi de H și 1 atom la 200 de atomi de He. Azotul este întîlnit într-o proporție de 3 ori mai mică decît oxigenul, iar carbonul e de 5 ori mai puțin decît oxigenul. În ceea ce privește litiul și beriliul, aceste elemente se găsesc de 1 000 000 de ori mai puțin decît oxigenul, ceea ce se explică prin faptul că aceste elemente intră ușor în reacții nucleare și sînt foarte ușor consumate.

Neonul este comparabil ca răspîndire cu oxigenul, iar magneziul și argonul de 10 ori mai puțin, fierul de 3 ori, siliciul de 15 ori, clorul de 50 de ori. Restul elementelor se găsesc în proporții de sute, mii și milioane de ori mai reduse decît oxigenul.

Există o lege naturală bine determinată (deși are unele excepții), și anume: cu cît un element este mai greu, cu atîta el se găsește în cantități mai mici. Legea poate fi ușor observabilă pe Pămînt. Deși compoziția Pămîntului este asemănătoare cu a stelelor, dacă se face o paralelă se constată totuși unele flagrante deosebiri, și anume:

- pe Pămînt există mult oxigen și siliciu și puțin hidrogen, pe cînd în stele există foarte mult hidrogen și heliu.

- pe Pămînt, gazele nobile sînt în cantități mici, pe cînd în stele sînt foarte abundente.

De asemenea, o serie de stele sau chiar grupuri mai mari de stele prezintă anomalii frapante în compozițiile lor chimice; astfel se cunosc stele în care predomină mai mult metale (așa-numitele stele metalice) sau altele cu exces de carbon (stele carbonice) ori, în sfîrșit, altele care conțin tehneci, element nestabil care nu se întîlnește în stare naturală nici pe Pămînt, nici în Soare.

Problema formării elementelor chimice pe planeta noastră este strîns legată de problema originii elementelor și a energiei stelare.

Rezolvarea problemei referitoare la geneza elementelor este cu drept cuvînt mai ușor de urmărit în cosmos, care astăzi ne furnizează date extrem de importante asupra modului de formare a acestora.

Așadar, cum s-au născut elementele în univers?

Împ de mai mulți ani, teoriile despre originea elementelor în univers s-au bazat pe presupunerea că există o componență chimică uniformă în întregul univers. Datele existente însă au fost extrem de puține și de cele mai multe ori supuse unor erori foarte mari.

Cu toate acestea, abundențele cîtorva elemente au fost stabilite la un ordin de mărime mai mult decît bun. În asemenea împrejurări a fost natural să se caute un mecanism sau o serie de mecanisme prin care să se explice că materia-



lul a fost supus la temperaturi foarte înalte, în orice caz suficiente pentru a forma elementele observate în stele, precum și alte mecanisme în afară de acelea care explică formarea heliului din hidrogen.

Mecanismele, după cum s-a arătat mai înainte, au și fost găsite în modul de efectuare al reacțiilor nucleare.

Evaluările mai vechi despre abundențele elementelor în cosmos s-au bazat într-o oarecare măsură pe analizele chimice ale diferitelor elemente constitutive ale scoarței Pământului.

Această sursă de informație nu ne poate furniza date importante decât într-o foarte mică măsură, deoarece trebuie să ne gândim, în primul rând că Pământul în evoluția lui și-a pierdut cea mai mare parte din elementele sale volatile, cel puțin după cât se cunoaște la suprafață, și, în al doilea rând, pentru că materialul rămas în cursul aceleiași evoluții a fost el însuși supus unui intens proces de diferențiere chimică.

Până în prezent, cele mai bune surse de informație despre abundențele elementelor nevolatile în cosmos au fost căutate în analizele chimice și radiochimice ale meteoritilor, și mai cu seamă în analizele meteoritilor chondritici, care sînt considerați a fi cele mai reprezentative izvoare de informație în privința elementelor nevolatile ale sistemului solar.

Din acest punct de vedere trebuie menționat că, în privința abundenței elementelor care s-au determinat în meteoritii chondritici, acestea se potrivesc foarte bine cu abundența acelorași elemente din univers.

În ceea ce privește însă abundențele elementelor volatile din univers, acestea nu pot fi determinate decât numai prin analizele spectrale ale radiației electromagnetice provenite de la stele sau de la nebuloasele gazoase.

Natural, asemenea analize sînt destul de greu de efectuat și reclamă, în primul rând, o bună cunoaștere a solicitărilor la care sînt supuși atomii în mișcare și, în al doilea rând, o bună cunoaștere a modelelor matematice ale sistemelor stelare și atmosferelor proprii în măsură să permită emiterea liniilor respective spectrale.

O distribuție a abundenței elementelor chimice rezultată din analizele terestre, meteorice și stelare s-a înscris pe curba din fig. 2 (o curbă plină de numeroase și fine detalii), în care abundențele elementelor apar în funcție de numărul de masă și din care se observă că nucleele cu numere de masă nepe-reche cad pe o curbă în general lină.

Pe această curbă nu apar însă elementele mai ușoare decât neonul, adică tocmai elementele care au numerele de masă  $< 20$ , deoarece abundențele lor sînt foarte individualiste. Se cunoaște totuși despre acestea că, de exemplu, carbonul, azotul și oxigenul sînt cu un ordin de mărime mai abundente decât neonul, cea mai mare parte a abundențelor lor aflîndu-se însă în izotopii  $^{12}\text{C}$ ,  $^{14}\text{N}$  și  $^{16}\text{O}$ .

Se mai cunoaște de asemenea că abundența fluorului este asemănătoare cu aceea a izotopilor minori ai C, N și O, iar Li, Be și B au abundențe asemănătoare cu a pămînturilor rare.

Se știu însă precis astăzi două fapte esențiale, și anume că: 1) elementul cel mai abundent din univers este hidrogenul și 2) că heliul este cu un ordin de



mărime mai puțin abundent decât hidrogenul. În afară de acestea, se mai știe că abundența totală a tuturor elementelor mai grele decât heliul este cu două ordine de mărime mai mică decât a heliului.

Din interpretarea curbei din fig. 2 se observă că există o tendință generală de descreștere a abundenței elementelor pînă la cele care au masa aproxima-

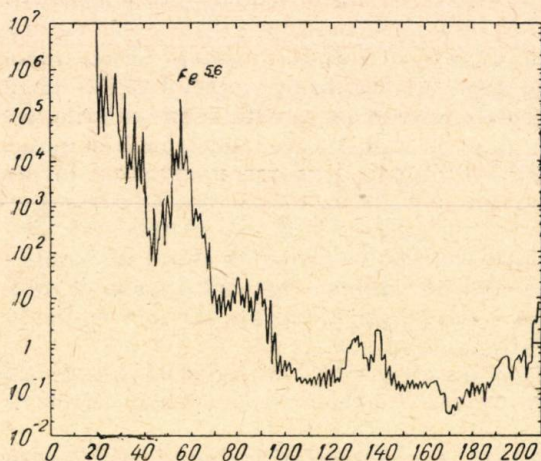


Fig. 2. Curba abundenței cosmice a elementelor în funcție de numărul de masă.

tiv 100, între tehneciū și rutheniu. Pînă la această masă (100), curba abundențelor coboară aproximativ lin, cu o singură excepție-anomalie care culminează cu marea abundență din dreptul  $^{56}\text{Fe}$ .

Pentru mase mai mari ca 100 mai pot fi observate cîteva vîrfuri mai proeminente în jurul valorilor 130 și 140. Deși această curbă a fost numită curbă de distribuție a abundențelor cosmice a elementelor, ea nu reprezintă în fond decât componența sistemului nostru solar. Ea nu reprezintă abundențele în univers și nici chiar în Galaxia noastră.

În ceea ce privește Galaxia noastră, s-a ajuns la concluzia că ea cuprinde cel puțin cinci populații distincte de stele, și anume:

- o primă populație de stele cu o vechime de  $6-6,5 \cdot 10^9$  ani, cu un conținut în elemente grele (toate elementele mai grele decât heliu) de aproximativ 0,3% din masă;

- a doua populație de stele cu o vechime de  $5-6 \cdot 10^9$  ani, cu un conținut în aceleași elemente grele de aproximativ 1% din masă;

- a treia populație de stele cu o vechime de  $3-5 \cdot 10^9$  ani, cu un conținut în elemente grele de aproximativ 2% din masă. Aceste trei populații de stele conțin deja 90% din masa galaxiei. Urmează apoi:

- a patra populație de stele cu o vechime de  $1-3 \cdot 10^9$  ani, cu un conținut în elemente grele de aproximativ 3% din masă, și, în sfîrșit:

- a cincea populație de stele cu o vechime pînă la  $10^9$  ani, cu un conținut în elemente grele de 4% din masă.



Gazul și pulberile interstelare conțin 2% din masa galaxiei, hidrogenul continuînd să persiste pînă la marginile cele mai îndepărtate ale galaxiei.

În consecință, se poate vedea din această imagine a componentei Galaxiei noastre că conținutul de element greu al stelelor este în strînsă legătură cu vîrsta lor și că nu poate fi vorba de o componentă chimică uniformă a universului, așa cum s-a crezut mai înainte.

Unele dovezi concordă însă cu ipoteza că există totuși o componentă relativ uniformă a grupelor de elemente grele. Premizele nu sînt încă sigure, dar acestea sugerează, poate, că în primul rînd ar exista tendințe evolutive între cele mai ușoare din grupul elementelor mai grele, astfel încît proporțiile abundențelor dintre N și C, pe de o parte, și dintre Ne și O, pe de altă parte, să crească cu cît vîrsta stelelor descrește, sau poate că, în al doilea rînd, elementele mai grele decît hidrogenul s-au sintetizat din acesta prin reacții nucleare în interiorul stelelor (implozii) și că produsele formate în felul acesta s-au încorporat în stelele mai noi (explozii).

Asemenea reacții nucleare sînt foarte posibile în astfel de medii, deoarece s-a observat că anumite stele au abundențe extrem de mari în unele elemente grele (de exemplu stelele din clasa spectrală „S” și un grup mai mic de stele din clasa Ba II).

Acestea par să aibă, de obicei, abundențe neobișnuit de mari pentru cele mai multe elemente mai grele decît germaniu, în timp ce în aceleași stele carbonul există într-o mai mică măsură.

De asemenea, o altă serie de stele, ca, de exemplu, stelele variabile din clasa „A” sau stelele de spectru variabil, pe lîngă faptul că prezintă puternice cîmpuri magnetice de suprafață, arată și o mare abundență de elemente grele, mai cu seamă pămînturi rare. În stelele pitice albe, care, deși prezintă enigme în variația de abundențe, elementele magneziu și calciu par să fie totuși extrem de abundente.

Pe baza încercărilor experimentale și a teoriilor cosmogonice privind structura internă a stelelor, vîrsta lor, abundențele lor deduse din liniile spectrale, procesul de emisiune a luminii etc., s-a arătat că ne putem permite o explicație a sintetizării elementelor chimice în natură.

Pe scurt, iată în ce constă mecanismul (planșa II):

Se admite astăzi unanim că în starea inițială, într-unul din momentele dezvoltării metagalaxiei, a existat în univers (galaxie) un mediu turbulent constituit numai din atomii de hidrogen, deci protoni, cu slabe urme de atomi de litiu, beriliu și bor. Originea acestei stări pretins „inițială” trebuie căutată în fazele finale cunoscute ale dezvoltării „universului astronomic”, de altfel singurul fapt accesibil observațiilor noastre. Rămîne încă în fază de ipoteză modul în care dezvoltarea pe care o cunoaștem conduce la apariția acestei stări pretins „inițiale”.

Este cert însă că din evoluția care se cunoaște, rezultă stele de densități fantastice (multe din ele depășind  $1\,000\,000\text{ g/cm}^3$ , după cum rezultă din măsurările astrofizice), cu o structură în care preponderază neutronii, ceea ce permite împachetarea foarte strînsă a substanței și generarea unei presiuni suficiente pentru ca electronii atomilor să intre în nuclee.



Extrapolînd fenomenul, se poate presupune continuarea procesului de împachetare și de preponderență a neutronilor.

Corpurile cerești supradense care rezultă pot da naștere acum materiei protostelare, cu proprietăți care abia urmează să fie studiate, dar a căror existență pare neîndoielnică, după cum arată ultimele lucrări de astrofizică.

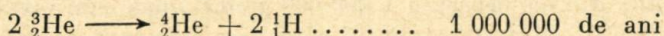
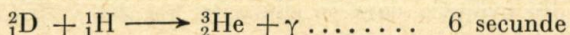
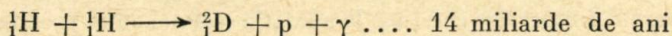
Prin procese încă necunoscute, această materie protostelară explodează, generînd tinere galaxii cu preponderență mai ales de hidrogen etc., adică tocmai starea „inițială” de care vorbim. O parte din acest mediu, sub influența forțelor gravitaționale, s-a coagulat, condensat și concentrat continuu, formînd stelele primare de diferite mărimi, în interiorul cărora au avut loc anumite procese termonucleare din care au rezultat într-un prim moment unele elemente cu numere de masă mai mari (elementele mai grele).

Mai tîrziu, la o parte din stelele gigante, din cauza evoluției lor — în condensare — spre pitice albe, întîmplîndu-se o pierdere de masă sau, la altele, cum este cazul la nove și supernove, întîmplîndu-se procese de explozie, elementele grele deja formate au fost ejectate cu o viteză foarte mare în afara stelei, în spațiul interstelar, unde a avut posibilitatea să se amestece cu hidrogenul. Aceste cazuri de ejeecție continuă par să fie asociate cu nașterea unor puternice cîmpuri magnetice pe suprafețele stelelor emițătoare.

În felul acesta s-a creat în masa de hidrogen a mediului cosmic ample posibilități de îmbogățire a acesteia cu o oarecare abundență de elemente grele (de altfel astrofizicienii arată că și astăzi au loc astfel de procese).

Din această masă de hidrogen cu acest prim conținut de elemente grele s-a putut forma, desigur cînd s-au creat condiții, o altă generație de stele, diferite însă de cele dintîi prin conținut și chimism, deoarece de data aceasta s-au sintetizat în această generație de stele alte elemente și mai grele decît acelea formate în stelele primare (originare). Este și în această situație ușor de văzut că universul nu conține o abundență chimică „înghețată”, ci el este într-o continuă transformare a abundențelor chimice, care se realizează unele pe seama altora chiar și astăzi.

Trebuie reținut însă un fapt esențial, și anume că, atunci cînd masa de hidrogen care forma inițial în spațiul cosmic un nor foarte puțin dens de gaz, constînd din hidrogen cu urmele de Li, Be și B, ea avea în orice caz o temperatură scăzută. Cînd s-a pornit procesul de condensare cu ocazia formării stelelor, a început să se manifeste și acțiunea de contracție adiabatică, care a adus după sine în interiorul stelei o creștere de temperatură, datorită eliberării de energie potențială gravitațională, pînă în jurul a 1 000 000°C. Acum, la această temperatură, au început primele reacții termonucleare, cu care prilej s-a sintetizat și s-a distrus deuteriul, conform reacțiilor (vezi planșa II).



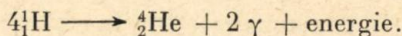
Datele care privesc timpul nu sînt universale (în cazul de față ele corespund condițiilor din centrul Soarelui), ci ele depind de densitate, tempera-



tură și de conținutul procentual de hidrogen. Într-adevăr, cu cât este mai mare densitatea, cu atât sporește probabilitatea coeziunii dintre particule, iar cu cât temperatura este mai ridicată, cu atât este mai mare probabilitatea ca particula să aibă o energie suficientă pentru a intra într-o reacție nucleară. În aceeași măsură intervine și creșterea conținutului în hidrogen. O dată cu efectuarea acestor reacții s-au consumat urmele de litiu, beriliu și bor ce se găseau inițial în norul de hidrogen, formându-se în același timp și mici cantități de heliu, conform reacțiilor din planșa II.

Bineînțeles că intervin aici și diferiți factori energetici (luminozitate, încetarea contracției etc.).

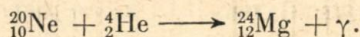
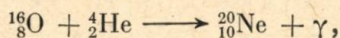
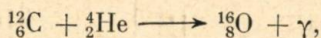
După ce s-a terminat reacția termonucleară a acestor elemente și contractarea a reînceput să se manifeste și mai intens, temperatura internă a stelei s-a ridicat la  $5 \cdot 10^6$  grade. Această temperatură este suficientă pentru a dezlănțui cu violență reacțiile proton-proton, reacții soldate cu o masivă transformare a hidrogenului în heliu:



Din realizarea lanțului de reacții proton-proton a rezultat o enormă cantitate de energie, care a permis stelei să-și acopere pierderile prin radiație pe perioade de la câteva milioane de ani (stea de tip O) la câteva miliarde de ani [stele de tipul Soarelui (vezi fig. 1), conducând la pitice albe].

După ce în urma acestui proces s-a consumat cea mai mare parte de hidrogen din masa stelei și, prin urmare, ritmul reacțiilor proton-proton s-a încetinit, ca un rezultat al unei arderi aproape complete, a urmat o altă contracție, care a dus din nou la o altă ridicare a temperaturii centrale a stelei, de data aceasta de ordinul a  $100 - 200 \cdot 10^6$  C. Această temperatură este în măsură să declanșeze o nouă serie de reacții termonucleare, acum între particulele  $\alpha$  [conform reacției:  ${}^4_2\text{He} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^8_4\text{Be}$ ]. Procesul poartă denumirea de „ $\alpha$  triplu”. Din acest proces rezultă mai întâi nucleele de  ${}^8_4\text{Be}$ , care, deși instabil (el descompunându-se în aproximativ  $10^{-16}$  s:  $2 {}^4_2\text{He} \rightleftharpoons {}^8_4\text{Be}$ ), totuși într-un nucleu al stelei cu o densitate de  $10^5$  g/cm<sup>3</sup> ciocnirile de heliu sînt suficient de energice și de profunde pentru a menține o mică cantitate de  ${}^8_4\text{Be}$  în gaz (aproximativ o parte  ${}^8_4\text{Be}$  la  $10^8$  părți  ${}^4_2\text{He}$ ). Aceasta din urmă poate capta particule  $\alpha$  dînd naștere la  ${}^{12}_6\text{C}$ , conform reacției:  ${}^8_4\text{Be} + {}^4_2\text{He} \longrightarrow {}^{12}_6\text{C} + \gamma$ .

${}^{12}_6\text{C}$ , la rîndul său, printr-o serie de capturi de particule  $\alpha$  a putut să genereze mai departe  ${}^{16}_8\text{O}$ ,  ${}^{20}_{10}\text{Ne}$ ,  ${}^{24}_{12}\text{Mg}$  etc., conform reacțiilor:



Ultima reacție se pare că se produce mai rar.

Comportarea reacțiilor He în condiții diferite de temperatură și de densitate este foarte variabilă și depinde de parametrii nucleari, care nu sînt încă bine cunoscute.

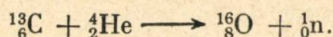


În tot cazul se știe că viteza procesului „α triplu” crește brusc, o dată cu temperatura.

Unele aspecte ale acestei comportări par să fie totuși clare, de exemplu: stelele foarte luminoase care consumă heliu într-un timp rapid formează aproape în întregime  $^{12}\text{C}$ . La alte stele mai puțin luminoase,  $^{12}\text{C}$  va fi produsul unor stadii mai timpurii, însă în produsul final se va găsi în cea mai mare parte  $^{16}\text{O}$ . Stelele și mai slab luminoase produc în stadiul final,  $^{20}\text{Ne}$  aproape curat. Desigur, este foarte posibil să intervină și stări intermediare, adică stări în care în produsele finale se vor putea găsi atât  $^{12}\text{C}$  cât și  $^{20}\text{Ne}$  cu foarte puțin  $^{16}\text{O}$ .

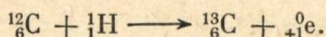
Pare foarte probabil că aceste reacții ale heliului să stea la baza creării unui exces de carbon și de neon pe care numeroase stele le conțin în stadiile avansate ale evoluției lor.

Cîteva alte reacții termonucleare ale heliului sînt foarte interesante de citat, pentru că ele constituie, de fapt, surse intense de neutroni, indispensabile unor alte tipuri de reacții, denumite reacții prin captură (de tip lent sau rapid) de neutroni, care generează în mare măsură elementele grele. Dintre aceste reacții, ca fiind foarte importantă, merită citată reacția:



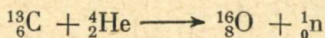
Această reacție se petrece, după cît se pare, în steaua în al cărui centr 1 a început să se producă un amestec de material din învelișul stelei (H mult) cu cel din centrul ei (implozie) și în care au început deja reacțiile termonucleare ale heliului. Reacția însoțește, probabil, și un rearanjament structural inițial al stelei.

În această ipoteză,  $^{12}_6\text{C}$ , produs mai înainte în centrul stelei, reacționează cu hidrogenul provenit din învelișul ei, pentru a da naștere la  $^{13}_6\text{C}$  conform reacției:

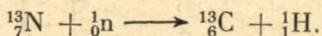


$^{13}_6\text{C}$  rezultat poate reacționa ulterior cu  ${}^4_2\text{He}$ , pentru a produce astfel din nou neutroni.

De fapt se crede că neutronii produși din reacția



sînt capturați mai întîi într-o proporție destul de mare de  $^{13}_7\text{N}$  în reacția:



Din această reacție se vede că, pe de o parte, se întreține cantitativ provizia de neutroni, iar pe de altă parte, se eliberează protoni care vor reacționa tot



timpul cu  $^{12}_6\text{C}$  pentru a regenera  $^{13}_6\text{C}$ . În felul acesta afluxul de neutroni va epuiza total  $^{12}_6\text{C}$ , iar restul va lua sfârșit în foarte scurt timp prin alte reacții de tip (n,p), care nu mai duc la regenerarea neutronilor.

După cum se vede, reacțiile principale se datoresc heliului și nu hidrogenului (cel puțin tot atât de abundent), din cauza sarcinii specifice  $\frac{q}{m}$  care la heliu este de două ori mai mică decât la hidrogen.

La temperaturi destul de mari, de aproximativ  $5 \cdot 10^9\text{C}$ , posibile la centrul stelelor, și la densități de ordinul  $10^4 - 10^6 \text{ g/cm}^3$ , încep reacții între nucleele de carbon, oxigen și neon, deja formate, ajungându-se treptat la sinteza elementelor din ce în ce mai grele, cum ar fi, de exemplu,  $^{56}\text{Fe}$  și altele. În aceste condiții,  $^{56}\text{Fe}$  este nucleul cel mai abundent în echilibrul statistic stabilit. Dacă densitatea crește cu mai multe ordine și temperatura continuă să rămână sub  $5 \cdot 10^9\text{C}$ , se găsesc în echilibru și alte nuclee mai grele.

Unele dintre aceste nuclee, fiind radioactive, se descompun prin emisie de electroni sau pozitroni sau prin captură de electroni.

În fiecare din asemenea dezintegrări se eliberează un neutrino<sup>1</sup> sau antineutrino, care „scapă” din stea cu o interacțiune neglijabilă, transportând astfel energie direct din miezul ei.

Acesta este un puternic mecanism de răcire, care aduce după sine prăbușirea lentă a regiunilor centrale ale stelei (implozie), ridicând astfel temperatura centrală.

Dacă temperatura se ridică cu această ocazie peste  $5 \cdot 10^9\text{C}$ , atunci din nou  $^4_2\text{He}$  devine nucleul cel mai abundent, acesta fiind de altfel particula cea mai stabilă din edificiul substanței.

Unele stele, formate încă în prima generație din masa inițială, din hidrogenul foarte puțin dens, expulzează materie sau chiar explodează, ejectând materie în mediul interstelar, cum este cazul novelor și supranovelor, chiar în intervalul de creștere a temperaturii de la  $100 - 200 \cdot 10^6\text{C}$  până la  $5 \cdot 10^9\text{C}$ , însă în orice caz după ce s-au format în interiorul lor carbonul, oxigenul și neonul, adică, mai precis, cu mult mai înainte de a se atinge temperatura de  $5 \cdot 10^9\text{C}$ .

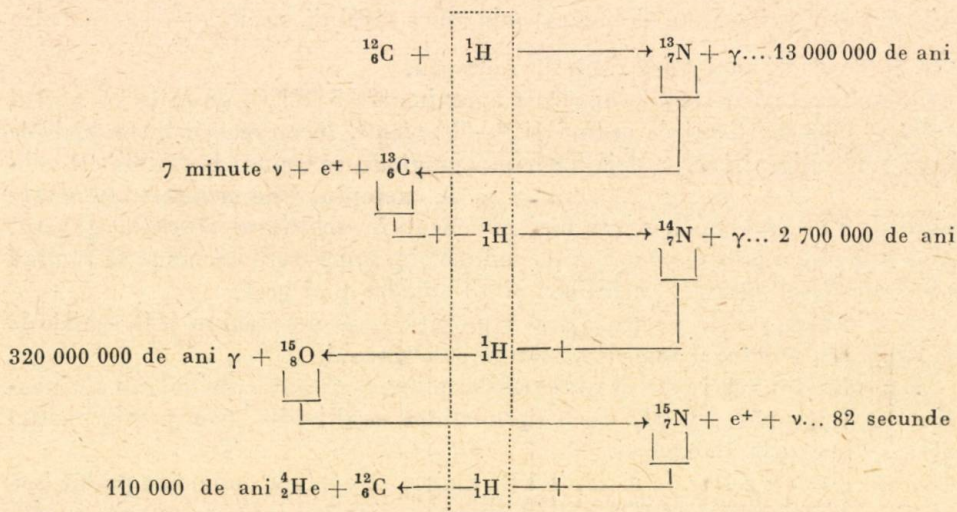
Se întâmplă deci în acest moment ca mediul inițial interstelar, după cum se știe foarte puțin dens și constituit în marea lui majoritate din hidrogen, să se îmbogățească cu elemente mai grele adică cu carbon, oxigen și neon.

Dacă în cele din urmă are loc o altă condensare a mediului interstelar cu această compoziție, se naște din nou o altă generație de stele. Acestea au în compoziția lor, pe lângă mult hidrogen, și elemente mai grele: carbon, oxigen și neon.

<sup>1</sup> Neutrino este o particulă neutră din punct de vedere electric și cu masa de repaus egală cu zero.



Temperaturile interne ale unor astfel de stele pot să atingă cifra de 15 000 000—20 000 000°C. Asemenea temperaturi permit începerea cu multă ușurință a unei noi serii de reacții termonucleare, desfășurate acum prin intermediul ciclului carbon-azot (catalizatori) astfel (vezi și planșa I):



După cum se vede, pentru realizarea acestor reacții din a doua generație de stele, care în fond se soldează tot cu formarea  ${}^4_2\text{He}$ , este necesară o temperatură mai ridicată decât pentru reacțiile proton-proton, deoarece sarcina mai mare a nucleelor din ciclul carbon-azot-oxigen (ciclu catalitic) cere și ea energii mai mari ale protonilor pentru învingerea forțelor coulombiene de respingere.

Ce-i drept, prima reacție a acestui ciclu, după cum am arătat este mult mai probabilă decât prima reacție a ciclului proton-proton, deoarece în acest caz nu este necesară transformarea protonului într-un neutron.

Pentru acest motiv, ciclul carbon-azot la temperaturi de peste  $15 \cdot 10^6$  —  $16 \cdot 10^6$ °C este mult mai eficace decât reacția proton-proton.

Timpul mediu necesar pentru efectuarea acestor reacții nucleare variază pentru reacțiile în care  ${}^{12}_6\text{C}$ ,  ${}^{13}_6\text{C}$ ,  ${}^{14}_7\text{N}$  și  ${}^{15}_7\text{N}$  reacționează cu protonul între 110 000 de ani până la 320 000 000 de ani, iar în reacțiile în care izotopii nestabili  ${}^{13}_7\text{N}$  și  ${}^{15}_8\text{O}$  se descompun, punând în libertate un pozitron ( $e^+$ ) și un neutrino ( $\nu$ ), este de ordinul minutelor (82 s — 7 min).

Trebuie remarcat aici, în primul rând, un fapt foarte important, și anume că, în reacțiile  ${}^{12}_6\text{C}$ ,  ${}^{13}_6\text{C}$  și  ${}^{14}_7\text{N}$  cu protonul, de fiecare dată excesul de energie se pune în evidență și prin radiație electromagnetică și, în al doilea rând, că ciclul se încheie cu izotopul  ${}^{12}_6\text{C}$ , cu care a început, și cu formarea unui nucleu de  ${}^4_2\text{He}$ , eliberând totodată  $4 \cdot 10^{-5}$  erg energie pe fiecare ciclu.

După cum se vede, în cadrul acestui proces viteza de reacție este în funcție nu numai de conținutul în hidrogen, ca în cazul reacției proton-proton, ci în



același timp și de conținutul în elemente mai grele: carbon și azot. De pe urma efectuării acestui ciclu se produc, după cum s-a văzut, seriile de izotopi ai N, C și O, adică  $^{13}\text{N}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{14}\text{N}$  (abundență mare),  $^{15}\text{O}$  și  $^{15}\text{N}$ . Dacă temperatura se ridică pînă la  $40-60 \cdot 10^6^\circ\text{C}$ , pot avea loc transformări ale altor nuclee (Ne și Na), iar electronii formează în acest caz un gaz degenerat<sup>1</sup>. Ecuația stării lui este foarte diferită de aceea a unui gaz obișnuit.

Paralel cu ciclul carbon-azot mai există o altă serie de reacții datorite hidrogenului, care se produc de fapt concomitent cu seria principală descrisă. Astfel, oxigenul, prin capturarea unui proton, se transformă, conform reacției  $^{16}\text{O} + {}^1_1\text{p} \longrightarrow {}^{17}_8\text{F} + \gamma$ , în izotopul  $^{17}_8\text{F}$ . Acesta, printr-o emisiune a unui pozitron, se transformă într-un izotop mai greu al oxigenului,  $^{17}_8\text{O}$ , conform reacției  ${}^{17}_8\text{F} \longrightarrow {}^{17}_8\text{O} + {}^0_{-1}\text{e} + \nu$ ; prin captarea unui proton, se ajunge în cele din urmă la formarea  $^{14}_7\text{N}$ , conform reacției  ${}^{17}_8\text{O} + {}^1_1\text{p} \longrightarrow {}^{14}_7\text{N} + {}^4_2\text{He}$ . După cum se vede are loc acum o emisiune de particule alfa ( ${}^4_2\text{He}$ ). Tot astfel se întîmplă cu formarea  ${}^{21}_{10}\text{Ne}$ .

Un rol activ în formarea pe cale naturală a elementelor cu numere de masă mari pare să-l fi jucat procesul de captare a neutronilor concomitent cu dezintegrările  $\beta$ , cu condiția esențială ca neutronii liberi să existe într-un număr foarte mare. Aceștia, după cum se cunoaște, nu au sarcină electrică și pot fi foarte ușor captați de nucleele atomilor.

Este tentant să se creadă că o captură de neutroni într-un timp rapid a avut loc și în cadrul unui tip de supernove, care par să fie în legătură cu stelele din populația II. Alte supernove par să fie în legătură cu stelele din populația I.

O dificultate a teoriei care explică formarea unor elemente cu numere de masă ceva mai mari constă în faptul că nu există nuclee stabile cu numere de masă 5 și 8, așa încît a fost necesar să se imagineze un tip de reacții termonucleare pentru a se face punți peste aceste goluri, pe care procesul de captură a neutronilor nu poate să le depășească. În această situație a trebuit să se apeleze la un alt parametru, și anume la densități foarte înalte, care nu sînt posibile decît în interiorul stelelor.

Prin acest proces, la temperaturi de  $85 \cdot 10^6^\circ\text{C}$ , pare să se întîmple în stelele din a doua generație următoarea serie de reacții termonucleare:

$^{13}_6\text{C}$  captează o particulă  $\alpha$  și conduce la formarea  $^{16}_8\text{O}$ , cu punerea în libertate a unui neutron ( ${}^{13}_6\text{C} + {}^4_2\text{He} \longrightarrow {}^{16}_8\text{O} + {}^1_0\text{n}$ );

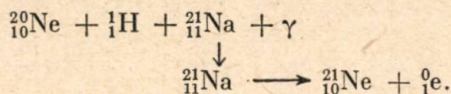
$^{17}_8\text{O}$ , prin același proces, conduce la formarea  ${}^{20}_{10}\text{Ne}$ , cu punerea în libertate a unui neutron ( ${}^{17}_8\text{O} + {}^4_2\text{He} \longrightarrow {}^{20}_{10}\text{Ne} + {}^1_0\text{n}$ ).

În acest ciclu trebuie amintit că și izotopul  $^{12}_6\text{C}$  format, prin două captări succesive de heliu dă naștere la  ${}^{20}_{10}\text{Ne}$ . Acesta, reacționînd cu un proton, se transformă în izotopul  ${}^{21}_{11}\text{Na}$ , conform reacției  ${}^{20}_{10}\text{Ne} + {}^1_1\text{H} \longrightarrow {}^{21}_{11}\text{Na}$ . Acest izotop al

<sup>1</sup> Gazul degenerat constă din electroni separați din nuclee atomice grele și care, datorită mării densități ( $10^5 \text{ g/cm}^3$ ) și a presiunii uriașe, posedă proprietăți neobișnuite.



sodiului, fiind nestabil (23 s) și emițind un pozitron, se dezintegrează și se transformă în izotopul cu masa 21 al neonului, conform reacției:



Izotopul  ${}^{21}_{10}\text{Ne}$  devine acum un alt punct de plecare pentru reacții producătoare de neutroni liberi prin reacția cu un nucleu de heliu  ${}^{21}_{10}\text{Ne} + {}^4_2\text{He} \longrightarrow {}^{24}_{12}\text{Mg} + {}^1_0\text{n}$  și cu producerea de  ${}^{24}_{12}\text{Mg}$ . Dacă presupunem acum că  ${}^{14}_7\text{N}$ , avid de neutroni, se epuizează mai repede decât producerea neutronului din neon — 21, atunci devine ușor explicabilă formarea elementelor mai grele chiar decât  ${}^{12}_{12}\text{Mg}$ , adică pînă pe la  ${}^{50}_{22}\text{Ti}$ .

Se observă deci că în felul acesta iau naștere în mediul stelar un foarte mare număr de elemente cu ajutorul capturii neutronilor liberi.

Acești neutroni liberi, deși sînt radioactivi și se dezintegrează spontan într-un proton și un electron, au totuși timpul necesar, mai ales prin faptul că din reacțiile de mai înainte rezultă un număr destul de mare de neutroni liberi, să pătrundă în nucleele atomilor mai grei și să dea astfel naștere treptat [bineînțeles într-un mod mai complicat], chiar nucleelor de elemente și mai grele situate în sistemul periodic pînă pe la  ${}^{208}_{82}\text{Pb}$  sau  ${}^{209}_{83}\text{Bi}$ .

Referitor la litu, elementul ușor de la începutul perioadei a doua scurtă, format din transformarea beriliului radioactiv conform reacției  ${}^7_4\text{Be} + {}^0_1\text{e} \longrightarrow {}^7_3\text{Li} + \nu$ , putem spune că problema formării lui, din cauza condițiilor fizice, este oarecum mult mai dificilă decât a celorlalte elemente ușoare. Sintetizarea lui nu se poate face în interiorul stelelor, unde se află temperaturi foarte ridicate. El este ușor transformat în  ${}^4_2\text{He}$  chiar la temperaturi cu mult mai mici, de exemplu la aproximativ 200 000°C, conform reacției  ${}^7_3\text{Li} + {}^1_1\text{H} \longrightarrow {}^4_2\text{He}$ , adică, prin captură de protoni, conduce la formarea heliului.

Unii cercetători privesc însă problema formării heliului prin prisma altor fenomene asemănătoare, în tot cazul a celor ce se petrec în betatron și a căror desfășurare trebuie să aibă loc în preajma marilor pete aflate pe suprafața Soarelui și a stelelor. Aceste pete, care se formează în cîteva ore, corespund unor cîmpuri magnetice variabile, de obicei mai puternice în stele decât în Soare (de ordinul a  $10^6$  Gs). Cîmpurile astfel născute sînt în măsură să imprime particulelor elementare accelerații asemănătoare cu cele obținute în betatron, de ordinul a 10 pînă la 100 000 000 eV.

Se arată azi în mod practic că la asemenea energii extraordinar de mari particulele elementare pot să reacționeze și pot să sintetizeze nu numai Li, Be, B, ci și alte elemente chimice, de tipul pămînturilor rare sau de tipul altor elemente mai grele, a căror abundență s-a dovedit a fi anormală în unele stele. Este drept însă că stele bogate în litu se întîlnesc destul de rar, ceea ce dovedește că mecanismul betatron se realizează relativ greu și numai în anumite stele.



Dacă încercăm acum să stabilim o legătură între clasificarea stelelor și periodicitatea elementelor, constatăm că există în adevăr oarecare relații în sensul că stelele din clasa M, N, R și S, gigantele roșii, au sintetizat nuclee care aparțin elementelor din perioadele 4, 5 și 6, cu mențiunea că stelele din clasa S pun în evidență în mod deosebit liniile elementelor din perioada 6 în special pentru zirconiu (sub formă de oxid), cu numărul atomic 40, în timp ce stelele din clasa K și M scot în evidență mai mult pe acelea ale titaniului (sub formă de oxid), cu numărul atomic 22.

Prezența elementului cu numărul atomic 43 (technetiu), element radioactiv, deci instabil, ne arată că acesta se formează și astăzi în stele (timpul lui de înjumătățire este foarte lung în comparație cu durata procesului de captură de neutroni și, în consecință, este un element stabil față de acest proces). Pe Pământ el nu se găsește.

Din succinta expunere făcută pînă aici rezultă că originea elementelor chimice din Pământ, sistemul solar, galaxii și metagalaxii trebuie căutată univoc în modul de evoluție al stelelor.

Pe scurt, acestea s-au format din materia interstelară, compusă aproape sută la sută din hidrogen, care a evoluat în interiorul ei ca un rezultat al modificării continue a factorilor fizici (presiune, temperatură, densitate) și din care a rezultat o primă generație de stele. Materia acestei prime generații de stele, prin ejecție sau explozie, s-a întors la un moment dat din nou în spațiul interstelar, de data aceasta însă modificată în sensul că a cuprins mai mult heliu și de asemenea mai multe elemente grele, dar cu hidrogenul în scădere.

Din această materie astfel constituită și aflată din nou în spațiul interstelar s-a format apoi o a doua generație de stele, care a cuprins de data aceasta și mai mult heliu, precum și mai multe elemente grele, dar mai puțin hidrogen decît în stelele primei generații.

Procesul, continuîndu-și tot astfel evoluția în timp și spațiu, conduce la concluzia că cu cît o stea este formată mai dinainte, adică mai bătrînă, cu atît ea este mai săracă în elemente grele decît steaua care este de o formație mai tînără.

De asemenea mai trebuie reținut încă un fapt important, și anume că nu toată materia stelară se întoarce în spațiul interstelar ca urmare a evoluției ei, ci că o oarecare parte din materie rămîne prinsă în stea, mai exact în rămășița ei reprezentată printr-o pitică albă sau „neagră”. Evident, de aici se poate cu ușurință conchide că, în timp ce materia interstelară se micșorează mereu, materia stelară crește mereu. Acest fapt concordă cu observațiile astrofizicienilor, și anume că în sistemele stelare vechi (roiurile globulare și galaxiile eliptice) nu a mai rămas materie interstelară și că, prin urmare, procesul de formare a stelelor a încetat. Nu se poate spune însă același lucru despre galaxiile spirale, și cu atît mai mult despre Galaxia noastră.

Dacă acum s-ar urmări procesele de dezvoltare a materiei pe Pământ — expulzarea de materie, pulsații, explozii, sinteza elementelor etc. — pe baza teoriilor cosmogonice moderne, ținînd seama de datele (care, desigur, mai trebuie încă mult completate) privitoare la planeta noastră, s-ar putea atunci



reconstitui științific fazele evoluției Pământului anterioare celor studiate de obicei de geologi și fără îndoială că prin cunoașterea acestora se vor putea rezolva corect toate problemele care ne preocupă astăzi.

Fără cunoașterea acestor faze timpurii din evoluția Pământului nu putem explica logic procesele de formare și de evoluție, ale planetei în general sau dinamica scoarței pământului. Nu putem de asemenea să ne pronunțăm asupra ipotezelor formării rocilor, mineralelor, petrolului etc. etc., fiindcă fără a cunoaște condițiile în care s-au produs anumite fenomene este imposibil să ne dăm seama de felul cum s-au petrecut ele.

Credem că cea mai potrivită cale de a determina aceste condiții este legarea geologiei de astrofizică și utilizarea cât mai profundă a cuceririlor fizicii moderne în studiile geologice.

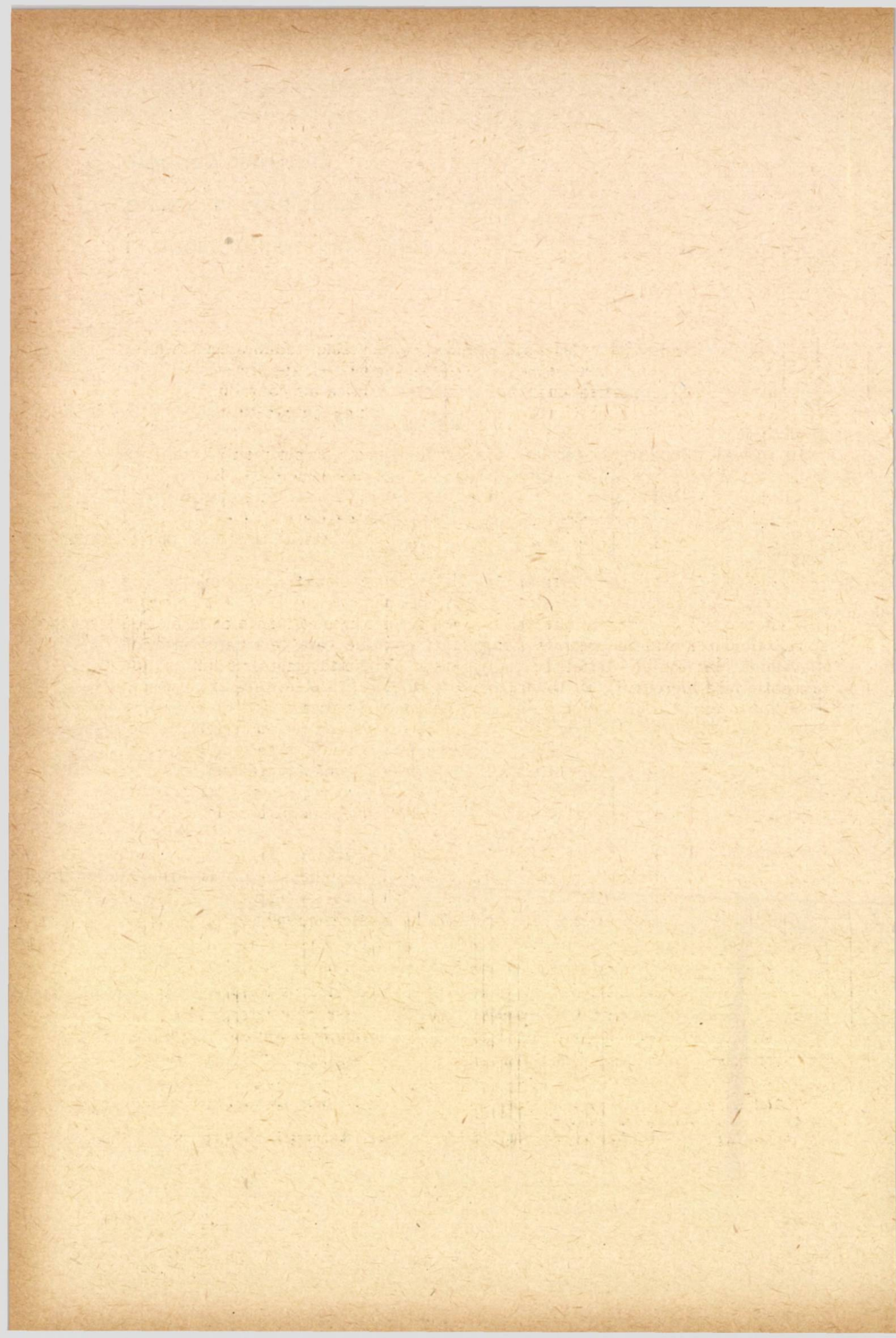


Sistemul periodic  
al lui D.I. Mendeleev în lumina  
celor mai noi descoperiri  
științifice

---

Prof. Univ. P. SPACU  
membru corespondent al Academiei R.P.R.







Stabilirea principalelor legi ale chimiei, progresele tehnologiei chimice anorganice — producătoare de acizi, baze și săruri —, ale sintezei chimice organice, ca și descoperirea unor noi elemente chimice au contribuit în mod hotărâtor la dezvoltarea științei chimice, în prima jumătate a secolului al XIX-lea.

În special introducerea teoriei atomo-moleculare — experimental stabilită de Dalton marcase — un moment de triumf în această dezvoltare. La mijlocul secolului — în „inventarul“ de elemente chimice, figurau nu mai puțin de 62 de elemente. Din nefericire însă, lipsa unei sistematizări, a unei clasificări științifice îngreua mult studiul chimiei și punea un obstacol serios în prevederea fenomenelor ei.

Au existat mai multe încercări de clasificare a elementelor după diferite proprietăți ale acestora: stare de agregare, culoare, valență etc. O clasificare care s-a bucurat de cel mai mare succes a fost clasificarea elementelor în metale și metaloide. Metalele prezintă proprietăți comune care le diferențiază de metaloide (nemetale). Astfel, la temperatura obișnuită, metalele sînt solide (excepție face mercurul), au luciu, mare conductibilitate termică și electrică, greutate specifică mare, puncte de topire în general ridicate, sînt maleabile și ductile. Metalele formează hidruri nevolatile, iar oxizii lor au caracter bazic.

Totuși, această clasificare prezenta unele lipsuri (unele metaloide au modificării alotrope<sup>1</sup>, cu proprietăți fizice și chimice asemănătoare metalelor) și deci era cu totul arbitrară. S-au încercat atunci clasificări pe baza unor însușiri mai fixe ale elementelor; proprietatea elementelor care nu variază în transformările chimice și fizice este masa atomică.

Astfel Döbereiner, Pettenkofer, Odling, Chancourtois, Newlands au încercat să sistematizeze elementele chimice după masele lor atomice, să găsească relații precise între masele atomice ale diferitelor elemente, să explice caracterul periodic al elementelor. Deși ei au ajuns la unele concluzii prețioase, nu au reușit să dezvăluie legitatea generală a elementelor chimice. Ei nu s-au putut ridica de la studierea elementelor izolate și a grupelor lor pînă la studierea legăturii universale dintre ele, dintre diferite grupe; au rămas deci la treapta „particularului“, neputîndu-se ridica la treapta „generalului“. Or, cunoașterea științifică adevărată, spune Engels, „constă în aceea că noi ridicăm în gîndire singularul de la singularitate la particularitate și de aici la generalitate...“<sup>2</sup>. Acest general

<sup>1</sup> Alotropie — proprietatea unor elemente de a apărea în două sau mai multe modificări, care se deosebesc între ele.

<sup>2</sup> F. Engels, *Dialectica naturii*, Editura Politică, București, 1959, p. 215.



în elementele chimice l-a descoperit ilustrul chimist rus D.I. Mendeleev prin elaborarea sistemului său periodic (1869).

Ținând seama de faptul că multe dintre elementele cunoscute pe timpul lui aveau proprietăți fizico-chimice foarte apropiate, Mendeleev a căutat să afle cauza mai profundă a acestei asemănări bănuind că ea ascunde o lege mai generală.

Spre deosebire de ceilalți chimiști, care considerau masa atomică și valența ca izolate, nelegate de alte însușiri ale elementelor, Mendeleev a văzut în masa atomică acea proprietate fundamentală care determină celelalte însușiri ale elementelor. Astfel, în celebrul său tratat *Bazele chimiei*, Mendeleev spune: „între masă și particularitățile chimice ale elementelor trebuie să existe o legătură..., o relație funcțională între proprietățile individuale ale elementelor și masele lor atomice“. Și de aceea „cel mai firesc și simplu drum constă în a căuta dependența între proprietățile și asemănările dintre elemente, pe de o parte, și masele lor atomice, pe de altă parte“<sup>1</sup>.

Astfel, urmînd această idee fundamentală, Mendeleev a aranjat elementele în ordinea crescîndă a maselor lor atomice, pe mai multe rînduri unul lîngă altul, avînd grijă totodată ca elementele care se aseamănă foarte mult prin proprietățile lor chimice să se găsească întotdeauna unul sub altul (tabelul 1).

Tabelul 1

|        |          |           |  |              |            |            |
|--------|----------|-----------|--|--------------|------------|------------|
|        |          |           |  | Ti = 50      | Zr = 90    | ? = 180    |
|        |          |           |  | V = 51       | Nb = 94    | Ta = 182   |
|        |          |           |  | Cr = 52      | Mo = 96    | W = 186    |
|        |          |           |  | Mn = 55      | Rh = 104,4 | Pt = 197,4 |
|        |          |           |  | Fe = 56      | Ru = 104,4 | Ir = 198   |
|        |          |           |  | Ni = Co = 59 | Pd = 106,6 | Os = 199   |
|        |          |           |  | Cu = 63,4    | Ag = 108   | Hg = 200   |
|        |          |           |  | Zn = 64,2    | Cd = 112   |            |
|        |          |           |  | ? = 68       | Ur = 116   | Au = 197 ? |
|        |          |           |  | ? = 70       | Sn = 118   |            |
|        |          |           |  | As = 75      | Sb = 122   | Bi = 210 ? |
|        |          |           |  | Se = 79,4    | Te = 128 ? |            |
|        |          |           |  | Br = 80      | I = 127    |            |
|        |          |           |  | Rb = 85,4    | Cs = 133   | Tl = 204   |
|        |          |           |  | Sr = 87,6    | Ba = 137   | Pb = 207   |
|        |          |           |  | Ce = 92      |            |            |
|        |          |           |  | ?Er = 56     | La = 94    |            |
|        |          |           |  | ?Yt = 60     | Di = 95    |            |
|        |          |           |  | ?In = 75,6   | Tb = 118 ? |            |
| H = 1  | Be = 9,4 | Mg = 24   |  |              |            |            |
|        | B = 11   | Al = 27,1 |  |              |            |            |
|        | C = 12   | Si = 28   |  |              |            |            |
|        | N = 14   | P = 31    |  |              |            |            |
|        | O = 16   | S = 32    |  |              |            |            |
|        | F = 19   | cl = 35,5 |  |              |            |            |
| Li = 7 | Na = 23  | K = 39    |  |              |            |            |
|        |          | Ca = 40   |  |              |            |            |
|        |          | ? = 45    |  |              |            |            |

Ideea lui Mendeleev a fost genială, iar însemnătatea ei a devenit imediat evidentă. Este adevărat că sistemul său avea încă multe locuri goale, dar tocmai pe acestea el le lăsase libere cu mare prevedere. Astfel, de exemplu, pe baza masei atomice crescînde, după calciu (Ca) ar fi trebuit să urmeze titanul (Ti). Comportarea chimică a titanului corespundea însă mai degrabă cu aceea a siliciului (Si) decît cu a aluminiului (Al), care se găsea imediat deasupra lui. De aici Mendeleev a tras concluzia că acesta este locul unui element încă necu-

<sup>1</sup> Prima formă a tabloului lui Mendeleev, redactată în anul 1869.



noscut, a cărui masă atomică este situată între cea a calciului și a titanului și care trebuie să fie foarte asemănător cu aluminiul. El a numit acest element ekabor.

Pentru motive asemănătoare a lăsat și alte locuri libere pentru elementele: Eka Al — galiu (Ga), Eka Si — germaniu (Ge), Eka Mn, Eka J, Eka Cs.

De asemenea, în unele cazuri el a inversat ordinea anumitor elemente pentru a le putea plasa în locul pe care îl reclamau proprietățile chimice respective (cobaltul înaintea nichelului și telurul înaintea iodului, la care s-au adăugat mai târziu potasiul înaintea argonului și toriul înaintea protactiniului).

În urma acestui aranjament, Mendeleev a descoperit că *fiecare element își are caracteristicile sale chimice calitative, care depind de caracteristica cantitativă a celei mai importante însușiri, care este masa atomică*. Aceasta constituie *legea periodicității*, una din legile de bază ale naturii, lege care se poate enunța mai concis, în limbaj algebric, spunând că *proprietățile elementelor sînt funcție periodică de masa lor atomică*.

Cercetările ulterioare au arătat că proprietățile elementelor sînt în realitate funcții periodice ale unui număr mai fundamental decît masa atomică, și anume numărul de ordine sau numărul atomic  $Z$ .

Am văzut că, pornind de la masa atomică ca însușire esențială a tuturor elementelor, Mendeleev a putut prevedea existența unor elemente chimice nedescoperite. Mai mult decît atît, în unele cazuri el a prevăzut chiar proprietățile acestora cu o exactitate uimitoare (tabelele 2 și 3).

Tabelul 2

Proprietățile Eka siliciului prevăzute de Mendeleev.

Masa atomică trebuie să fie media aritmetică a maselor celor 4 elemente vecine din sistemul periodic Si, Sn, Zn, Se =

$$= \frac{1}{4}(28,1 + 118,7 + 65,38 + 79,0) = 72,8.$$

Densitatea, dedusă ca mai sus, trebuie să fie 5,5.

Volumul atomic trebuie să fie situat între cel al Si (13) și al Sn (16), dar mai apropiat de cel al siliciului.

Trebuie să dea un oxid  $\text{EsO}_2$ , cu proprietăți mai puțin bazice decît  $\text{SnO}_2$ .

Densitatea oxidului trebuie să fie 4,7. Întocmai ca oxizii staniului și ai zincului,  $\text{EsO}_2$  se va reduce ușor.

Va da o clorură lichidă  $\text{EsCl}_4$  cu punctul de fierbere cuprins între 57 și 100°C și avînd densitatea 1,9.

Combinăția cu hidrogenul  $\text{EsH}_4$  va fi gazoasă și mai stabilă decît  $\text{SnH}_4$ .

Sulfura solubilă în sulfură de amoniu. Florura va forma o sare  $\text{K}_2\text{EsF}_6$ , mai solubilă decît cea corespunzătoare siliciului.

Proprietățile germaniului determinate experimental de către Winkler.

Greutatea atomică = 72,60.

Densitatea la 20°C = 5,469.

Volumul atomic = 13,4.

$\text{GeO}_2$  nu e bazic, ci slab acid.

$\text{GeO}_2$  are  $D = 4,703$ .

$\text{GeO}_2$  se reduce ușor cu cărbune sau hidrogen, dînd germaniu metalic.

$\text{GeCl}_4$  este lichidă, fierbe la 86°C și are densitatea 1,879.

$\text{GeH}_4$ , p.f. — 90°C.

Confirmat

Confirmat



Tabelul 3

|                                                                     |                                                                       |
|---------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| Proprietățile Eka aluminiului prevăzute de Mendeleev                | Proprietățile galiului (Ga) după Lecoq de Boisbaudran din (1875—1905) |
| Masa atomică: 68                                                    | Masa atomică: 69,9                                                    |
| Greutatea specifică: 6,0                                            | Greutatea specifică: 5,94                                             |
| Volumul atomic: 11,5                                                | Volumul atomic: 11,75                                                 |
| Greutatea specifică a oxidului: 5,5                                 | Greutatea specifică a oxidului: 5,86                                  |
| Punctul de topire scăzut                                            | Punctul de topire: 30°C                                               |
| Stabil la aer                                                       | Stabil la aer                                                         |
| Temperatura de fierbere sub a Al                                    | Sub 500°C                                                             |
| Formează alauni                                                     | Formează alauni                                                       |
| Metalul se obține ușor prin reducere                                | Metalul se obține ușor prin reducere                                  |
| Cu $H_2S$ precipită sub formă de sulfură                            | Precipită cu sulfuri                                                  |
| Este solubil în KOH                                                 | Ga e solubil în KOH                                                   |
| Mai volatil decât aluminiu, va fi descoperit prin analiză spectrală | Descoperit prin analiză spectrală în 1875.                            |

Descoperirea elementelor galiu (Ga) (1875, Boisbaudran), scandiu (Sc) (1879, Nielson și Cleve) și germaniu (Ge) (1886, Winkler), ale căror proprietăți coincideau cu proprietățile descrise de Mendeleev pentru Eka Al, Eka B și Eka Si, a marcat triumful legii periodicității, care la început fusese primită cu destulă neîncredere de oamenii de știință contemporani.

În afară de clasificarea elementelor și prevederea unor elemente necunoscute, prin legea periodicității Mendeleev a scos chimia dintr-un impas, dând chimiștilor posibilitatea de a verifica și corecta masele atomice ale elementelor în concordanță cu succesiunea lor în sistemul periodic.

Pînă la descoperirea legii periodicității nu a existat un criteriu general care să hotărască care dintre diferitele mase atomice ale unui element, stabilite de către diferiți chimiști, era cea exactă.

Sistemul periodic al lui Mendeleev prezenta și unele lipsuri, ca, de exemplu, așezarea hidrogenului (H) și a lantanidelor. Unele elemente erau aranjate după masa atomică, dar în opoziție cu proprietățile lor [cupru (Cu), argint (Ag), aur (Au) în aceeași grupă cu metalele alcaline], apoi neexplicarea *inversiunilor*, cauza schimbărilor periodice ale proprietăților chimice și ale unor proprietăți fizice ale elementelor.

Nivelul de dezvoltare a chimiei și fizicii contemporane lui nu i-a permis lui Mendeleev să explice toate acestea și nici să formuleze concepția științifică despre dezvoltarea și transformarea elementelor, deși ea reiese logic din sistemul său periodic și deși el s-a apropiat foarte mult de această concepție.

Legea lui Mendeleev a fost, după expresia plastică a savantului rus N.D. Zelinsky, „descoperirea legăturii care există între toți atomii din univers“. Ea trebuie să ducă și a dus în mod inevitabil la descoperirea faptului că atomii, care păreau înainte particulele cele mai simple, au de fapt o structură complicată, iar mai târziu și la confirmarea structurii complicate a nucleelor atomice.

Supozițiile de natură filozofică din antichitate și evul mediu, ca și cele ale chimiștilor din secolele XVII—XIX, cu privire la transmutarea elementelor nu



se bazau pe nici un fel de fapte stabilite precis. Legea periodicității a contribuit foarte mult la dezvoltarea ipotezei cu privire la transmutabilitatea elementelor. Așezarea lor în tabloul lui Mendeleev a servit ca argument extrem de puternic, deși la început numai indirect, în favoarea ideii că elementele chimice provin din forme de materie mai simple (Crookes, Stoletov, Berthelot, Morozov, Brauner etc.).

Însuși Mendeleev, în prima ediție a cărții *Bazele chimiei* (1869—1871), înclină spre ideea că dependența periodică, stabilită de el, între proprietățile și masa atomică a elementelor pare să confirme presupunerea că atomii sînt formații complexe, compuse din particule (*ultimate*) și mai mici. Această era o ipoteză nouă, cu adevărat științifică, despre complexitatea și transmutabilitatea elementelor chimice.

În legătură cu transformarea reciprocă a elementelor, Mendeleev spune: „Telul și sarcina de a transforma un element în altul este o chestiune de viitor”<sup>1</sup> și astfel problema transmutației elementelor a rămas deschisă.

Dezvoltarea chimiei moderne este strîns legată de dezvoltarea fizicii, a fizicii atomice în special. Aceasta, studiind structura atomică, a contribuit enorm la înțelegerea fenomenelor chimice, mai ales la fundamentarea teoretică a sistemului periodic. Pe de altă parte, legea periodicității, care privește în primul rînd forma chimică de mișcare a materiei, a contribuit și contribuie și astăzi la dezvoltarea fizicii atomice.

Sfîrșitul secolului al XIX-lea a fost marcat de descoperiri importante în fizică, printre care se evidențiază descoperirea electronului (Lénard, Thomson), a radiațiilor (Roentgen, 1895) și a fenomenului radioactivității (Becquerel, M. Curie-P. Curie 1898), care au însemnat cunoașterea de către om a adîncului atomului și totodată elaborarea unor concepții noi despre natură în acel domeniu al fizicii unde se mai ascundea pînă atunci metafizica.

Pe baza observației intensității radiației minereurilor de uraniu, Maria Skłodowska-Curie, emițînd ipoteza că acestea conțin cantități mici dintr-un element necunoscut, a ajuns la descoperirea poloniului, iar împreună cu Pierre Curie la descoperirea radiului (1898).

Între anii 1900 și 1902 s-au descoperit gazele radon (emanația de Ra), toron și actinon, care emit radiații  $\alpha$ .

Observația că intensitatea radiației radioactive nu depinde de temperatură și că cu timpul această intensitate scade treptat de la sine, formîndu-se concomitent elemente care nu existaseră înainte în compoziția substanței radioactive, au condus în 1903 pe Rutherford și Soddy la ipoteza îndrăzneată că procesul radioactiv este o *dezintegrare spontană a elementelor*, ipoteză care a fost verificată experimental și a devenit prima teorie a radioactivității.

Curînd după aceasta s-a stabilit că există trei serii radioactive: uraniu-radiu (U-Ra), toriu (Th), uraniu-actiniu (U-Âc).

Teoria radioactivității a răsturnat în modul cel mai categoric și mai revoluționar vechile idei metafizice despre imuabilitatea atomilor.

<sup>1</sup> D. I. Mendeleev, *Opere alese*, vol. II.



Mendeleev a acordat o mare însemnătate descoperirii radioactivității și a urmărit cu atenție lucrările din acest domeniu, sperînd ca astfel să fie dezvăluită și înțeleasă cauza legii periodicității.

Dacă Mendeleev ar mai fi trăit cîteva ani (a murit în 1907), ar fi ajuns momentul în care dezvoltarea fizicii a dus la stabilirea legăturii dintre radioactivitate și legea periodicității, la descoperirea pe această bază a legii transformărilor radioactive, legea deplasării, și la elaborarea unor noi concepții teoretice în domeniul fizicii atomice și nucleare. Din legea deplasării decurgeau trei consecințe, care explicau toate faptele stabilite înainte pe cale empirică: 1) ordinea elementelor pe orizontală în sistemul periodic corespunde succesiunii formării elementelor radioactive unele din altele; 2) toate cele trei serii radioactive se termină cu același element cu  $Z = 82$  (plumbul, Pb), arătînd că se supun legii transformărilor radioactive; 3) în condițiile acestei coincidențe a seriilor radioactive, unui loc din sistemul periodic nu îi revine un singur fel de atomi, ci cîteva feluri de atomi, oarecum identici din punct de vedere chimic. Astfel a apărut noțiunea de izotopie.

În 1913 s-au făcut alte descoperiri în domeniul fizicii atomice și nucleare, descoperiri care au pus bazele unei noi perioade de dezvoltare (sarcina pozitivă a nucleului, crearea pe această bază a modelului de atom electron-nucleu).

Numărul de masă caracteristic pentru diferiți izotopi reprezintă masa totală a particulelor care intră în compoziția nucleului (numărul de masă se înseamnă cu  $A$ ).

Ca și legea deplasării, toate aceste descoperiri erau legate direct de legea periodicității.

Studiul radioactivității ca proces natural ajunsese la stadiul cînd se putea pune problema influențării artificiale, de către om, a nucleului atomic. Prima transmutație artificială a fost realizată de Rutherford (1919), care, bombardînd atomul de azot (N) cu particule alfa, a obținut un izotop al oxigenului (O).

Curînd după aceea s-au realizat și transmutații ale altor elemente ușoare.

Între anii 1921 și 1930 atenția a fost concentrată tot asupra învelișului electronic al atomilor. În cursul acestui deceniu s-a dat explicarea teoretică a sistemului periodic al lui Mendeleev. Din punctul de vedere al teoriei electronice (1921—1922), a apărut ideea spinului electronului<sup>1</sup> (1925), a fost formulat principiul excluziunii al lui Pauli<sup>2</sup>, pe baza căruia s-a dat o explicație și mai completă a sistemului periodic (1926), și, în sfîrșit, s-au elaborat bazele mecanicii cuantice (1924—1928).

La începutul celui de-al patrulea deceniu al secolului nostru, tehnica experimentală în domeniul realizării practice a transformărilor nucleare a făcut progrese uriașe. În felul acesta, studiul multilateral al învelișului atomic, dezvoltarea ideilor teoretice cu privire la nucleu și în special crearea unor mijloace tehnice perfecționate pentru realizarea reacțiilor nucleare au pregătît descoperirile mari din fizica nucleară care s-au făcut începînd din 1932.

<sup>1</sup> *Spin* — momentul cinetic al unei particule, în cazul de față al electronului, moment datorit rotației în jurul axei proprii.

<sup>2</sup> *Principiul de excluziune al lui Pauli*: electronii care aparțin aceluiași atom se deosebesc cel puțin prin unul din cele patru numere cuantice.



Prin descoperirea *neutronului* (Chadwick) și pe baza observațiilor din 1932 cu privire la bombardarea elementelor beriliu (Be), bor (B) și litiu (Li) cu particule  $\alpha$  emise de poloniu (Po), prin descoperirea apei grele și obținerea izotopului greu al hidrogenului (deuteriu) din care s-a separat ionul deuteron, s-au obținut două proiectile nucleare noi, la care s-au adăugat protonii accelerați artificial, și deci noi posibilități de bombardare a atomilor elementelor.

În 1934 savanții francezi Irène și Frédéric Joliot-Curie au descoperit radioactivitatea artificială. Ei au observat că, sub acțiunea particulelor  $\alpha$ , alumiul emite neutroni, dar și o radiație ( $\beta$ ) de tip nou, formată din particule purtătoare de sarcini pozitive, adică din pozitroni, descoperiți cu puțin înainte în radiația cosmică.

Studierea diferitelor elemente din natură, efectuată în decurs de aproape 70 de ani de la enunțarea legii periodicității, a dus la descoperirea a 25 de elemente noi, dar și după aceasta au rămas încă patru locuri neocupate în sistemul periodic.

Studiul structurii și proprietăților nucleelor atomice a dus la concluzia că elementele nedescoperite în natură sînt nestabile și de aceea nu pot fi găsite.

De legea lui Mendeleev sînt strîns legate și cercetările făcute pentru obținerea pe cale artificială a elementelor noi, despre care vom vorbi în cele ce urmează.

Prin existența a patru tipuri diferite de mijloace de bombardare a nucleului (particule  $\alpha$ , protoni, neutroni, deuteroni) și în condițiile perfecționării tehnicii experimentale (ciclotronul), fizicienii au căpătat posibilități destul de largi pentru realizarea reacțiilor nucleare pe diferite căi în vederea obținerii unui izotop dat. Datorită varietății reacțiilor nucleare, în această perioadă și mai tirziu au fost obținute elemente nestabile care nu existaseră înainte și care ocupă în sistemul periodic al lui Mendeleev locurile cu numerele de ordine 43, 61, 85: tehneciū (Tc), promeciū (Pm) și astatin (At).

Elementul 43, numit *techneciū* (pentru că s-a obținut artificial cu mijloace tehnice), a fost preparat pe cale artificială de către italianul Segrè (1937) prin bombardarea nucleelor de molibden (Mo) cu deuteroni accelerați în ciclotron.

Mai tirziu au fost studiate numeroase alte reacții nucleare care duceau la formarea diferiților izotopi ai techneciului, însă sursa pentru obținerea techneciului în cantități relativ mari este formarea lui în reactorii nucleari printre fragmentele de fisiune ale uraniului. Deci techneciul este unul dintre produsele secundare rezultate în reactoare (10 g de izotopi  $^{97}\text{Tc}$  și  $^{99}\text{Tc}$  la fiecare kilogram de plutoniū (Pu).

În prezent se cunoaște un număr mare de izotopi, avînd numerele de masă de la 92 la 108 și timpul de înjumătățire<sup>1</sup> de la cîteva secunde pînă la  $10^6$  ani.

Techneciul obținut prin reacțiile nucleare descrise anterior a fost separat de celelalte elemente fie prin precipitare cu diferiți reactivi, fie prin extracție cu diferiți solvenți sau cu ajutorul unor schimbători de ioni. După cum era de așteptat, techneciul — ca și manganul și reniul — are un mare număr de stări de valență, de la bivalent pînă la heptavalent, și prezintă proprietăți mult

<sup>1</sup> *Timp de înjumătățire* — constantă caracteristică fiecărui element radioactiv și reprezintă timpul în care radioactivitatea unui element scade la jumătate din valoarea inițială.



diferite, după treapta de valență respectivă. El se aseamănă mai mult cu reniul decât cu manganul și, deci formează combinații stabile în trepte de valență superioară (7).

Datorită faptului că un izotop al tehneciului metalic ( $^{99}\text{Tc}$ ), prezintă o stabilitate deosebită la coroziune și o secțiune mică de activare cu neutroni, el este folosit ca material de construcție a reactorilor.

Elementul 61 a fost căutat mult timp, fără succes, în minereurile care conțin pământuri rare, descoperirea acestui element anunțându-se de mai multe ori încă din 1917, însă de fiecare dată, la o verificare mai atentă, s-a dovedit că aceste comunicări au fost greșite.

Formarea unor izotopi ai acestui element a fost observată la bombardarea cu deuteroni a neodimului, precum și la bombardarea cu particule  $\alpha$  a neodimului și praseodimului, dar în toate aceste cazuri nu s-a făcut separarea chimică a acestui element, astfel încât concluziile asupra formării diferiților izotopi cu numărul atomic 61 erau mai mult sau mai puțin indirecte.

Pentru prima oară acest element a fost separat în 1947 din produșii de fisiune ai uraniului, sub forma izotopului cu viață lungă cu numărul de masă 147, care a fost numit *prometi* ( $\text{Pm}$ ).

Separarea chimică a noului element s-a realizat prin cromatografie cu schimb de ioni, cea mai eficace dintre toate metodele cunoscute pentru separarea pământurilor rare.

În prezent se cunosc o serie de izotopi radioactivi ai acestui element.

În legătură cu proprietățile chimice ale prometiului s-au publicat destul de puține date, deși se știe că este un reprezentant al elementelor din grupa pământurilor rare, ocupînd locul dintre neodim și samariu.

Dintre toți izotopii, importanță practică a căpătat în special  $^{147}\text{Pm}$ , care se folosește atît ca indicator radioactiv, cît și pentru obținerea bateriilor atomice de dimensiuni mai mici.

Elementul 85 a fost obținut pentru prima oară în 1940 de Segrè și colaboratorii săi prin bombardarea bismutului ( $\text{Bi}$ ) cu particule  $\alpha$  accelerate în ciclotron.

Aceștia au numit noul element *astatiniu* ( $\text{At}$ ), care înseamnă instabil.

Mai târziu s-au găsit izotopi cu viață scurtă ai astatiniului, care sînt membri ai celor trei serii de dezintegrare radioactivă  $^{215}\text{At}$  (seria uraniu-actiniu),  $^{216}\text{At}$  (seria toriu) și  $^{218}\text{At}$  (seria uraniu-radiu).

În 1958 s-a studiat formarea astatiniului din bismut și plumb, prin reacții nucleare secundare sub acțiunea protonilor de energii mari. Studiul chimiei astatiniului s-a efectuat cu cantități ultramici, dovedind asemănarea acestuia cu iodul, dar fiind mai puțin volatil decât acesta.

În prezent, astatiniul n-a găsit încă o aplicare largă, deși mulți cercetători au arătat că este suficient de bine absorbit de glanda tiroidă și prezintă o serie de avantaje față de izotopul  $^{131}\text{I}$  (iod-131).

Ultimul element care mai lipsea din sistemul periodic al lui Mendeleev, elementul 87, a fost descoperit în 1939 de Marguerite Perey la dezintegrarea actiniului ( $\text{Ac}$ ), sub forma izotopului cu numărul de masă 223, și l-a numit *franciu*.



Chimia acestui element, studiată mai ales cu ajutorul izotopului  $^{223}\text{Fr}$  a arătat că este complet analogă cu cea a cesiului și rubidiului.

Izotopul  $^{223}\text{Fr}$  se folosește pentru determinarea rapidă a actiniului în substanțele naturale, precum și în studii biologice.

Prin urmare, datorită folosirii metodelor noi ale fizicii nucleare și ale radiochimiei, au putut fi obținute pe cale artificială sau descoperite în seriile radioactive naturale elementele tehneciū, promeciū, astatiniū și franciū, completându-se locurile goale din sistemul periodic.

Fizicianul italian Enrico Fermi, care a obținut un mare număr de izotopi radioactivi prin bombardarea elementelor cu neutroni, a constatat că, spre deosebire de metalele ușoare, în cazul uraniului nucleul acestuia se dezintegrează în două fragmente de mase diferite, ale căror numere de ordine dau Z-ul nucleului inițial.

Acest fenomen, numit *fisiune nucleară*, este o reacție nucleară puternic exotermă (1 nucleu uraniu eliberează 200 MeV).

Dacă limita sistemului periodic în domeniul nucleelor ușoare este dată de hidrogen, deoarece nu poate exista un element care să aibă sarcina nucleului mai mică de 1, în domeniul nucleelor grele limita aceasta nu este cîtuși de puțin fixată de uraniu.

Istoria sintezei elementelor transuranice începe cu primele experiențe în legătură cu acțiunea neutronilor asupra nucleelor de uraniu.

Sinteza noilor elemente arată clar că fizicienii au realizat condițiile în ceea ce privește conducerea proceselor nucleare în direcția dorită de om.

Un izotop al elementului 93, cu numărul de masă 239, a fost obținut de Millan și Abelson (1940) prin bombardarea uraniului cu neutronii lînji.

În cantități mai mari se obține izotopul cel mai stabil al neptuniului  $^{237}\text{Np}$ , cu timpul de înjumătățire de  $2,25 \cdot 10^6$  ani (2 200 000 de ani) în reactoarele nucleare.

Prin bombardarea  $^{238}\text{U}$  cu deuteroni accelerați în ciclotron, s-a obținut un izotop al elementului 94 (plutoniului, Pu).

Cel mai amănunțit a fost studiat un alt izotop al plutoniului,  $^{239}\text{Pu}$  ( $T = 2,4 \cdot 10^4 \text{a}$ ), care constituie principalul produs rezultat în unele tipuri de reactoare nucleare.

Acest izotop este singurul dintre noile elemente care a găsit o aplicație practică. Alături de  $^{235}\text{U}$ , el servește ca combustibil pentru producerea energiei atomice.

Prezența plutoniului în minereurile naturale se explică prin aceea că el se formează sistematic (din aceleași minereuri de uraniu), găsindu-se în echilibru cu U-238 în același mod ca în reactoarele nucleare.

Elementele 95 și 96 — americiu (Am) și curium (Cm) — au fost descoperite, ca și plutoniul, de Seaborg și colaboratorii săi (1944).

Primul a fost descoperit curiul.

În 1949—1950 au fost descoperite elementele 97 și 98 — berkeliu (Bk) și californiu (Cf) (Seaborg) — prin bombardare cu particule accelerate în ciclotron.



Separarea berkeiliului și californiului de americiu și curiu s-a făcut cu schimbători de ioni. Ca toate elementele transuraniene, și acestea sînt instabile.

Un izotop al californiului ceva mai stabil (36 h) a fost obținut prin bombardarea uraniului cu ioni de  $C^{4+}$  puternic accelerați în ciclotron.

Elementele 99 și 100, numite einsteiniu și fermiu, au fost obținute în Statele Unite și Suedia, în 1952—1953, prin bombardarea  $^{229}\text{U}$  cu atomi ionizați de  $^{14}\text{N}^{5+}$ , respectiv atomi de  $^{16}\text{O}^{6+}$  ionizați, puternic accelerați.

În 1955 a apărut comunicarea cu privire la un nou succes în fizica nucleară, și anume obținerea artificială de către Seaborg a elementului 101 prin bombardarea izotopului  $^{253}\text{Es}$  cu particule  $\alpha$  accelerate în ciclotron printr-o tehnică experimentală deosebită. Noul element a fost numit mendeleeviu, în cinstea genialului creator al sistemului care a servit timp de aproape un secol la descoperirea elementelor chimice.

Prin bombardarea  $^{246}\text{Cm}$  cu ioni  $^{13}\text{C}^{4+}$  s-a obținut un izotop al elementului 102 nobeliu (No):  $^{254}\text{No} \xrightarrow{\alpha} \text{Fm}$ .

În 1961 s-a anunțat obținerea artificială a elementului 103, lawrenciu (Lw), prin bombardarea californiului cu nuclee de bor.

Anii viitori ne vor aduce, fără îndoială, multe rezultate științifice noi și interesante în legătură cu crearea elementelor încă necunoscute și cu privire la izotopi noi ai elementelor obținute pînă acum, precum și cu studiul proprietăților lor fizice și chimice.

Obținerea pe cale artificială a elementelor noi, ca și întreaga dezvoltare a științei despre structura materiei, arată într-o măsură din ce în ce mai mare importanța legii periodicității a lui Mendeleev. Fără îndoială că multe pagini glorioase ale științei viitorului vor fi puternic legate de această lege importantă. Ea va continua să servească drept fir călăuzitor pentru savanții înaintați, care pătrund tot mai adînc în esența atomilor și descoperă surse puternice de energie, punînd stăpînire pe ele și învățînd să le dirijeze spre binele omenirii.



# Metalele rare și rolul lor în tehnică

---

Prof. Univ. Ing. S. GÂDEA







Din categoria metalelor „rare“ fac parte aproape jumătate din elementele chimice cunoscute. Printre ele se numără: titanul, vanadiul, wolframul, molibdenul, zirconiu, hafniu, niobiu, tantalul, germaniu, galiu, uraniu, radiu ș.a.

S-ar putea crede că denumirea de „metale rare“ s-ar datora faptului că acestea sînt mai puțin răspîndite în natură și deci mai puțin cunoscute.

Lucrurile stau însă altfel. Încă din secolul trecut, o serie de savanți, ca Vernadski, Clarke, Fersman și Vinogradov au început să studieze compoziția chimică a scoarței Pămîntului pînă la o adîncime de 15—16 km. Ei au efectuat mii de sondaje, analize de roci și de minerale și, sistematizînd rezultatele obținute, au ajuns la unele concluzii surprinzătoare: unele dintre elementele socotite „rare“ nu sînt de loc rare în scoarța Pămîntului.

Multe dintre ele se află chiar în cantități mai mari decît metalele comune. Astfel, spre exemplu, în scoarța Pămîntului se află de șapte ori mai mult wolfram decît plumb, rezervele de vanadiu sînt de cinci ori mai mari decît cele de zinc, iar cantitatea de titan întrece de 60 de ori pe cea de cupru. Așadar, noțiunea de metal „rar“ atribuită wolframului, vanadiului sau titanului este inexactă.

Trebuie de asemenea subliniat că unele elemente rare nu formează zăcămintele proprii, iar altele nici nu au minerale proprii, ele aflîndu-se în natură incluse în mineralele altor elemente. Aceste metale au pătruns mai greu în tehnică, datorită greutăților mari care se ivesc la extragerea lor. De pildă, dacă procesul tehnologic de obținere a oțelului se reduce, în fond, la trei sau patru operații principale, pentru obținerea unor metale rare, cum ar fi uraniu, este nevoie de 20—25 de operații distincte.

Dar nici starea de dispersie a elementelor chimice în scoarță nu constituie o caracteristică generală a metalelor rare.

Atunci de ce mai bine de jumătate dintre elementele chimice cunoscute sînt trecute în categoria elementelor rare?

Cauza principală se datorește faptului că de-abia în ultima jumătate a secolului al XIX-lea oamenii au descoperit proprietățile cu adevărat minunate ale acestor metale și au început să le folosească în tehnică. Pe măsură ce unui metal rar încep să i se găsească întrebuințări datorită descoperirii unor proprietăți deosebite, el încetează, de fapt, de a mai fi rar. Atunci se accelerează prospectarea geologică și se descoperă mijloace mai simple și mai ieftine de extragere a unui asemenea metal.

În acest sens, cel mai bun exemplu l-ar putea constitui aluminiul. Cu toate că acest metal ocupă locul al treilea ca răspîndire în scoarța Pămîntului,



pînă la sfîrșitul secolului al XIX-lea el era socotit un metal rar, mult mai de preț decît aurul. De atunci și pînă astăzi însă tehnica nouă a elaborat metode foarte simple de extragere a acestui metal, făcîndu-l să aibă, în acest fel, o largă întrebuintare.

Rolul foarte important pe care l-au jucat metalele rare în dezvoltarea tehnicii din secolul al XX-lea poate fi deosebit de bine exemplificat dacă urmărim istoria unuia dintre cele mai „bătrîne” metale rare, care este wolframul. Cînd, în 1781, vestitul chimist suedez Karl Scheele a descoperit acest element, el nici nu putea să-și imagineze ce revoluție va produce wolframul în tehnică. A fost nevoie de aproape 100 de ani pentru a-i fi descoperite proprietățile care i-au determinat larga folosire.

De sute de ani, renumitele săbii fabricate de făurarii din Damasc erau căutate în lumea întreagă și plătite, cu greutatea lor, în aur. Elastice, putîndu-se îndoi pînă la mîner fără să se rupă, ele erau așa de ascuțite încît tăiau voalul care ar fi căzut pe ascuțișul lor și atît de dure încît tăiau drugi de fier. Mai tîrziu, studiîndu-se oțelul acestor săbii, s-a descoperit că „secrețul” maiștrilor armurieri din Damasc consta în calitatea excepțională a oțelului folosit, care conținea wolfram și care permitea o călire perfectă a lamei.

În 1864 s-a introdus pentru prima oară wolframul în oțel, obținîndu-se un oțel „autocălit”. Cuțitele de strung făcute din acest material permiteau să se taie metalele cu o viteză de 7,5 m/min în loc de 5 m/min, cum îngăduiau cele făcute cu oțel-carbon obișnuit. Acest succes, socotit pe atunci gigantic, a fost primul pas în marșul victorios al wolframului în tehnică.

Pasul următor a fost făcut însă abia după 40 de ani, cînd s-a obținut cel dintîi oțel cu tăiere rapidă din lume. După încă 5—6 ani, în industrie se introdusesse pe scară largă oțelul cu tăiere ultrarapidă, care permitea o viteză de tăiere de 30—35 m/min.

Părea că s-a ajuns la limita de creștere a vitezei și într-adevăr s-a ajuns, dar numai pentru oțel, nu și pentru wolfram. În 1907 s-a propus „aliajul dur”: un amestec de metale care în mod practic nu conținea fier. El se compunea din wolfram, crom și cobalt. Acest aliaj, denumit stelit, a dat o nouă mărire a vitezei de tăiere pînă la 45 m/min și a devenit „străbunicul” aliajelor dure, binecunoscute și atît de larg folosite în prezent. În zilele noastre se folosește carbura de wolfram, care permite tăieri cu viteze de 70—80 m/min. Această substanță este o combinație chimică între wolfram și carbon și are o duritate apropiată de cea a diamantului (care, se știe, că este cel mai dur corp), suportînd totodată o temperatură extrem de ridicată. Acum se fabrică și se folosesc pe scară largă materiale ultradure, care conțin carburi de wolfram, crom și titan înglobate în cobalt, ce permit viteze de tăiere pînă la 3 000 m/min.

Așadar, datorită folosirii wolframului, s-a reușit să se ajungă de la viteze de tăiere de 5 m/min la viteze de sute și chiar mii m/min. Aceste cifre vorbesc de la sine. Invenția aliajelor dure este, incontestabil, una dintre descoperirile cele mai interesante ale ultimelor decenii. Dar ea nu este decît un capitol din istoria folosirii wolframului și molibdenului (un metal cu proprietăți înrudite cu primul).



Studierea în continuare a însușirilor wolframului și molibdenului și a aliajelor lor a deschis un nou domeniu de folosire a acestor elemente în fabricarea oțelurilor cu proprietăți speciale. Oțelurile cu wolfram sînt dure, rezistă la temperaturi mari, își schimbă puțin proprietățile magnetice la încălzire și se corodează mult mai greu sub acțiunea acizilor sau a bazelor. Din aceste oțeluri se fabrică scule, magneți permanenți, blindaje, țevi de tunuri etc. Folosirea wolframului și a molibdenului în siderurgie este atît de mare, încît putem spune că apariția metalurgiei oțelurilor de calitate ar fi fost de neînchipuit fără folosirea acestor metale.

Wolframul și-a impus prezența și ca material pentru construcția lămpilor de radio. Începutul a fost făcut în anul 1900, cînd firul de wolfram a fost folosit pentru prima dată în industria becurilor electrice. Datorită temperaturii foarte ridicate de topire a acestui metal ( $3\,400^{\circ}\text{C}$ ), firele de incandescență făcute din el rezistă mai bine decît cele făcute din orice alt material. În prezent wolframul este folosit la fabricarea filamentelor catodice din lămpile electronice montate în milioanele de aparate de radio de pe tot globul pămîntesc.

La aceste utilizări ale wolframului mai trebuie adăugat și faptul că țesăturile îmbibate cu sarea de natriu a acidului wolframic sînt rezistente la foc, chiar dacă sînt încălzite la flacără directă.

Simpla enumerare a domeniilor de folosire a wolframului este suficientă pentru a demonstra importanța în tehnică a acestui metal, ale cărui utilizări sînt încă departe de a fi epuizate.

Dacă wolframul ar putea fi denumit „metalul vitezelor mari“ în așchiera metalelor, un alt element rar — titanul — ar putea purta pe drept cuvînt denumirea de „metal al vitezelor mari“ în aviație. Și iată de ce. Producerea pe scară industrială a aluminiului a făcut posibilă construirea unor aparate de zbor mai grele ca aerul — avioanele — , care sînt destul de robuste pentru a rezista curenților din oceanul aerian și care permit obținerea unor viteze suficient de mari.

Avioanele s-au perfecționat, vitezele au crescut, dar cu avioanele „clasice“ (cu motor și cu aripi simple de aluminiu) nu putea fi doborîită „bariera“ vitezelor mai mari decît viteza sunetului. Motorul acestor avioane era prea greoi și cu o putere prea mică. La viteze mari, din cauza frecării cu aerul, aripile de aluminiu se încălzeau și din cauza aceasta își pierdeau rezistența mecanică; la viteze supersonice, aripile aparatului se rupeau pur și simplu din cauza vibrațiilor ce se produceau.

În această situație dificilă pentru constructorii de avioane a apărut însă în scenă titanul, un metal de două ori mai ușor decît oțelul, dar la fel de rezistent ca acesta.

Din aliaje de titan se confecționează piesele cele mai importante ale motorului avionului cu reacție, care devine astfel incomparabil mai ușor. Tot din aliaje de titan sau chiar din titan curat se fabrică suprafețele aripilor și fuselajului cu care avionul taie aerul (așa-zisele „suprafețe de atac“); aceste suprafețe de data aceasta, nu se mai tem de vibrații sau de încălzirea prin frecare cu aerul.



Atingerea vitezelor supersonice a fost posibilă numai datorită folosirii unor materiale de construcție noi în compoziția cărora titanul a avut o pondere însemnată.

Titanul se folosește de asemenea și sub formă de oxid. Albul de titan (oxidul) este întrebuințat pe scară largă în industria de lacuri și vopsele. Lacurile și vopselele cu alb de titan sînt deosebit de rezistente la acțiunea apei de mare, a ploii și a vîntului și nu se oxidează chiar după perioade de timp foarte îndelungate.

Metalele rare și-au adus o contribuție însemnată și la construirea reactorului nuclear, agregat energetic care deschide drumuri noi cercetătorilor noștri spre studiul amănunțit al proprietăților atomului. Datorită reactorului de la Institutul de fizică atomică din țara noastră, este posibilă introducerea unor metode tehnice noi, mult mai productive, al căror rezultat îl constituie o serie de produse cu calități superioare și cu preț de cost mai scăzut.

Reactorul atomic ar putea fi comparat cu un cuptor al cărui combustibil nu este nici păcura, nici lemnul, nici gazul metan, ci un metal rar, radioactiv, uraniul.

Atomii metalelor care fac parte din grupa elementelor rare radioactive nu sînt stabili sau au o stabilitate foarte mică și eliberează o foarte mare cantitate de energie. Ei sînt fisionați cu ușurință de către neutroni prin ciocnire. Prin fisiune, un atom „se rupe” în două sau mai multe fragmente, eliberîndu-se totodată și doi sau trei neutroni. Reacția de fisiune se produce cu degajarea unei mari cantități de energie, dar ea are un dezavantaj: neutronii eliberați prin explozia unui atom pot provoca fisiunea altor atomi din jur. La rîndul lor, aceștia eliberează alți neutroni și reacția se autoîntreține (reacție în lanț); ea poate să crească ca o avalanșă ajungînd la proporțiile unei explozii atomice.

Pentru a preîntîmpina acest neajuns, este suficient să captăm (să prindem) fragmentele care apar în plus.

Acest rol de „calmant” al reacției îl joacă tot niște metale rare care absorb neutronii emiși la fisiunea uraniului fără a mai pune în libertate alții. Printre aceste elemente se numără *cadmiul* și *hafniul*, care, introduse în reactor într-o cantitate mai mare sau mai mică, frînează sau accelerează reacția atomică.

Alte metale rare au o capacitate foarte mică de absorbție a produselor de fisiune. Printre ele sînt *zirconiul* și *beriliul*, folosite la fabricarea pieselor reactorului (cum ar fi, de exemplu, tuburile în care se introduce uraniul), deoarece ele nu trebuie să intervină cu nimic în reacție.

Un alt metal rar, *galiul*, este folosit la stațiile pentru transportul spre turbine a căldurii degajate în reactor. În acest fel galiul va transmite căldura apei pentru a o transforma în abur numai cu puțin înainte de a ajunge în turbină. Acest proiect are avantaje evidente: galiul se topește la 30°C și fierbe abia la 2 100°C, iar în stare lichidă el joacă mult mai bine rolul de schimbător de căldură de la reactor la turbină.

În ultimul timp se vorbește din ce în ce mai mult despre materialele semiconductoare. Și aceasta pe bună dreptate, deoarece dispozitivele cu semiconductoare au produs o adevărată revoluție în electronică și electrotehnică.



Rolul cel mai important în realizarea dispozitivelor cu semiconductoare pentru înlocuirea lămpilor electronice cu vid l-a jucat *germaniul*, un metal rar și foarte dispersat în scoarța Pământului.

Semiconductoarele au permis construirea aparatelor care „văd“.

S-a observat că *seleniul* are o proprietate foarte interesantă: o placă din acest metal conectată într-un circuit electric face să varieze curentul în funcție de cantitatea de lumină care cade pe ea.

Fotorezistențele cu seleniu (căci așa se numesc aceste dispozitive) au numeroase aplicații. Ele pot juca, spre exemplu, rolul de „paznici automați“.

Astăzi se construiesc în foarte multe țări asemenea automate care „păzesc“ instalațiile de înaltă tensiune. Când omul, din nebagare de seamă, se apropie de zona periculoasă, el trece prin fața unui automat cu fotorezistență pe care în mod obișnuit cade lumina unui bec. Întreruperea fișiei de lumină pune în funcțiune un magnetofon și o voce răsună în difuzor avertizându-l: „Nu înaintați, pericol de electrocutare“.

Aceste „cristale-minune“ numite semiconductoare pot crea surse de curent electric chiar în locurile unde n-au ajuns încă firele purtătoare de electricitate și chiar atunci când nu avem la dispoziție acumulatori. Spre deosebire de acumulatori, care se descarcă destul de repede, iar pentru încărcare necesită o sursă de curent continuu, instalațiile cu semiconductoare, care în mod practic pot fi întrebuințate timp de zeci de ani, folosesc ca sursă de energie pentru producerea electricității, *noaptea*, o lampă cu gaz iar *ziua* — Soarele. În primul caz se utilizează termocuple, iar în al doilea caz baterii solare cu semiconductoare.

Asemenea baterii solare, de grosimea unui covor și cu dimensiuni de  $1,2 \times 4,5$  m, fabricate din sulfura unui metal rar, *cadmiul*, pot asigura fără plată curentul electric necesar nevoilor casnice obișnuite (reșou, aspirator, radio, televizor, iluminat etc.).

Acestea sînt, desigur, numai o parte din aplicațiile semiconductoarelor. Ar fi interesant să mai amintim că se proiectează baterii care, puse în locul caloriferelor din locuințe, iarna vor încălzi, iar vara vor juca rolul de frigori-fere.

În momentul de față se cunosc cîteva sute de elemente, compuși și aliaje cu proprietăți semiconductoare. Pe lângă germaniu, seleniu și cadmiu, la fabricarea semiconductoarelor se folosesc de asemenea și alte metale rare, cum ar fi: wolframul și molibdenul sub formă de oxizi, indiul, galiul, telurul etc. sub formă de compuși intermetalici. Faptul că despre aceste metale am mai vorbit în legătură cu oțelurile speciale sau tehnica nucleară demonstrează încă o dată cît de multiple și variate sînt întrebuințările pe care le au aceste „metale ale viitorului“.

Vorbind despre metalele rare folosite la fabricarea dispozitivelor cu semiconductoare, am arătat că seleniul și uneori telurul (un metal foarte înrudit cu seleniul) se folosesc la fabricarea fotorezistențelor. Dar domeniile de folosire a acestor două metale sînt departe de a se rezuma numai la această aplicație.

Seleniul se folosește, de asemenea, pentru fabricarea redresoarelor de curent (care transformă curentul alternativ în curent continuu). Aceste redresoare,



în comparație cu cele vechi de cuprex, sînt capabile să suporte timp îndelungat sarcini mult mai mari fără scăderea randamentului de curent, sînt mai ușoare și rezistă mai bine la căldură.

În ceea ce privește fabricarea cauciucului, s-a reușit să se producă un material mai bun în multe privințe chiar decît cel natural. Meritul, desigur, este al chimiștilor organicieni, dar aici a avut un cuvînt de spus și seleniul. Acest metal, adăugat în cauciuc în proporție de 0,1—0,2%, mărește rezistența cauciucului la căldură, oxidare și frecare, precum și elasticitatea. Cauciucurile cu seleniu se vulcanizează mult mai ușor și rezistă incomparabil mai bine la acțiunea corodantă a uleiurilor.

*Seleniul și telurul* se folosesc și ca adaosuri de aliere în unele oțeluri și aliaje neferoase. Prezența seleniului sau telurului în aceste aliaje îmbunătățește calitatea pieselor turnate, făcîndu-le să aibă o structură cristalină mai fină, fără goli și micșorînd contracția volumetrică produsă cu prilejul solidificării metalului lichid.

Din familia metalelor rare mai fac parte două elemente cu proprietăți deosebit de prețioase. Este vorba de tantal și niobiu. După însușirile lor, ambele metale se aseamănă foarte mult, iar în natură se găsesc aproape întotdeauna împreună.

Calitățile mecanice și chimice ale tantalului sînt pur și simplu uimitoare: el poate deveni foarte moale, fiind ușor de modelat prin batere cu ciocanul, sau poate fi prefăcut în material mai dur decît oțelul.

*Tantalul* are și proprietăți chimice deosebit de prețioase. Asupra lui nu acționează nici un acid sau bază (numai acidul fluorhidric îl corodează foarte încet, și aceasta la cald). Nici apa regală (un amestec de acizi clorhidric și azotic) nu reacționează cu tantalul la temperatură obișnuită. În privința rezistenței chimice, niobiul este întrucîtva mai prejos decît tantalul, însă și el are proprietăți anticorozive foarte bune.

Marea rezistență mecanică și chimică, temperatura ridicată de topire (mai mare decît a platinei) sînt însușirile datorită cărora tantalul și, în parte, niobiul sînt folosite la fabricarea aparatului pentru uzinele chimice care produc acizi sau baze și în care utilajul din oțeluri antiacide ar avea o viață relativ scurtă din cauza coroziunii.

Tantalul, ca și niobiul, mai posedă o însușire remarcabilă: la încălzire ele absorb ușor gazele care nu pot fi eliminate complet din metal nici la temperaturi apropiate de punctul de topire.

Această proprietate este deosebit de utilă în procesul de fabricare a lămpilor de radio, deoarece cu ajutorul pompelor de vid nu se poate absorbi tot aerul; ultimele cantități de aer se evacuează deosebit de greu prin metodele obișnuite. În schimb, niobiul sau tantalul introduse în aceste lămpi joacă rolul de „capcane” pentru resturile de aer. Prin absorbirea aerului se îmbunătățește vidul din lămpile electronice, făcînd ca durata de funcționare a acestor piese să fie mult prelungită.

Niobiul și-a găsit o largă întrebuințare și în metalurgie, în special în oțelărie.

În industria grea, ca peste tot în tehnică, se pune un accent deosebit pe automatizarea și mecanizarea unor procese de fabricație. Sudura electrică



crează premisele automatizării proceselor tehnologice la fabricarea unor piese unde se folosește un volum mare de muncă (cazane, autoclave etc.), ieftinind și simplificând în același timp procesul de producție.

Procedeul sudurii este destul de simplu atîta timp cît este vorba de oțel obișnuit. El devine însă mai complicat cînd trebuie să se sudeze oțeluri speciale sau aliaje neferoase, materiale larg folosite în tehnica nouă. Pentru rezolvarea problemei sudurii oțelurilor cu crom și nichel, cel mai mare efect l-a avut adaosul de niobiu. Prezența în oțelurile inoxidabile, termorezistente, a niobiului în cantități foarte mici permite sudarea lor rapidă și în bune condiții. Trebuie menționat că adaosurile de niobiu în oțeluri îmbunătățesc mult proprietățile mecanice ale acestora.

Metalele rare joacă un rol însemnat în tehnica modernă. Ele au produs o adevărată revoluție într-o serie de ramuri deosebit de importante pentru economia națională, cum ar fi: industria constructoare de mașini, electronică, electrotehnică, tehnica nucleară etc.

Tocmai de aceea în țara noastră se dă o importanță atît de mare obținerii și folosirii pe scară tot mai largă a metalelor rare.

Studierea zăcămintelor în exploatare și prospectare pe un front larg pentru găsirea de noi minereuri care să conțină metale rare în vederea creării unei baze sigure de materii prime este o preocupare de seamă a specialiștilor în acest domeniu.

Geochimiștii, geologii și minierii au obținut în acest sens rezultate promițătoare.

A doua sarcină de mare importanță revine metalurgilor, care trebuie să obțină aceste metale în cantități tot mai mari pentru nevoile crescînde ale industriei noastre.

Cercetătorii metalurghi din țara noastră au elaborat procesele tehnologice pentru obținerea unor metale rare sau aliaje ale acestora, cum ar fi titanul, vanadiul, niobiul, tantalul, feromolibdenul și ferowolframul.

După cum s-a mai arătat, unele metale rare nu formează minereuri proprii însă sînt prezente sub formă de incluziuni în mineralele altor metale comune. Valorificarea complexă a acestor minereuri cu scopul extragerii metalelor rare disperse care se concentrează în unele subproduse în cursul prelucrării metalurgice a devenit azi o problemă deosebit de actuală.

În domeniul valorificării complexe a minereurilor neferoase care conțin metale rare, cercetătorii, în colaborare cu inginerii și tehnicienii din industrie, au obținut de pe acum unele rezultate remarcabile.

Punerea în funcțiune a combinatului de aluminiu, prevăzută în planul de șase ani, va crea posibilitatea extragerii galiului din bauxitele din R.P.R.

O altă sarcină importantă care reiese din Documentele Congresului al III-lea al P.M.R. este introducerea pe scară cît mai mare a metalelor rare în domeniile cele mai variate ale industriei și tehnicii.

Industria noastră constructoare de mașini cere cantități mereu sporite de oțeluri și aliaje neferoase de calitate superioară, și în acest sens oțelarii de la Reșița și Hunedoara au ca sarcină de a mări considerabil producția de oțeluri înalte aliate cu wolfram, molibden, vanadiu etc.



Industria maselor plastice și a lacurilor și vopselelor vor primi primele cantități de săruri sau de oxid de titan.

S-a construit uzina de dispozitive semiconductoare care folosește metalele rare, și în special germaniul. Această uzină pune la dispoziția electrotehnicienilor piesele necesare pentru construirea aparatelor de radio și a televizoarelor de tipul cel mai nou, a frigiderelor și a generatoarelor de electricitate cu semiconductoare.

Fabricarea în număr tot mai mare a dispozitivelor cu semiconductoare va crea premisele pentru fabricarea aparatelor necesare introducerii pe scară largă a automatizării proceselor de producție.

Peste câțiva ani, metalele rare vor intra în mod curent în industrie și în viața noastră casnică. Ele vor înceta de a mai fi „rare” și cu toții ne vom putea convinge de calitățile lor deosebite și de avantajele folosirii lor. Aceste „metale ale viitorului” vor deveni atunci niște ajutoare prețioase ale acelor care construiesc azi în țara noastră o viață liberă și îmbelșugată pentru toți oamenii muncii.



# Semiconductoarele și rolul lor în tehnică

---

**Prof. Univ. Dr. TR. D. GHEORGHIU**  
membru corespondent al Academiei R.P.R.







Semiconductoarele sînt substanțe care conduc electricitatea mai puțin bine decît metalele, dar ceva mai bine decît izolatoarele, substanțele izolante. Aceasta nu este însă o definiție, deoarece și printre metale sînt unele care conduc mai bine și altele mai puțin bine electricitatea ; printre izolatoare de asemenea sînt unele care izolează mai mult și altele mai puțin. Trebuie să ne adresăm altor proprietăți ale lor pentru a le caracteriza.

Se știe că, atunci cînd se încălzește un metal, conductibilitatea lui electrică scade, cu alte cuvinte, atunci cînd metalul este încălzit, rezistența lui electrică crește, și invers, cînd temperatura scade, metalul devine din ce în ce mai bun conducător de electricitate. La o temperatură foarte scăzută, aproape de zero absolut, conductibilitatea metalului este atît de bună, încît curentul nu mai întîmpină aproape nici o rezistență.

Dacă într-o spiră metalică răcită pînă aproape de zero absolut va trece un curent electric, acest curent va circula timp îndelungat fără să se oprească. Experiența arată că metalul a devenit supraconductor la temperaturi foarte scăzute.

Ce se întîmplă cu semiconductoarele? La acestea lucrurile se petrec tocmai invers. Dacă semiconductorul este încălzit, el devine mai bun conducător de electricitate, iar dacă este răcit devine tot mai rău conducător, tot mai rezistent la curent. În apropiere de zero absolut, semiconductorul nu mai permite trecerea curentului, el devine izolanț.

Așadar, modul în care variază conductibilitatea electrică cu temperatura este o proprietate care caracterizează semiconductorul.

Mai sînt și alte însușiri proprii semiconductoarelor. Unele semiconductoare, dacă sînt luminate, lasă să treacă mai bine electricitatea prin ele. Altele au proprietăți magnetice interesante etc.

Unele semiconductoare sînt compuse dintr-un singur element chimic, iar altele sînt compuse dintr-o combinație de două sau trei elemente chimice; cea mai mare parte dintre ele sînt semiconductoare în stare solidă și mai ales în stare cristalină.

Există și substanțe organice cu proprietăți de semiconductor, dar și acestea sînt solide. S-a întrevăzut și existența unor semiconductoare lichide, dar studiile făcute pînă acum s-au referit mai ales la starea solidă, pentru că starea aceasta este mai bine definită, în ea moleculele și atomii păstrînd o anumită așezare.



## STRUCTURA SUBSTANȚELOR SEMICONDUCTORAE

Pentru a ne da seama de ce metalele se comportă într-un anumit fel, iar semiconductoarele în alt fel, trebuie să facem o incursiune în structura metalelor.

Într-un cristal de metal sînt foarte mulți atomi apropiați între ei, atît de mulți încît electronii lor periferici se influențează puternic. Datorită acestui fapt legătura electronilor cu nucleul slăbește atît de mult, încît ei încep să se miște dezordonat, ca și cînd ar fi liberi. Ei se mișcă în așa fel în cristal, încît nu se mai poate spune că sînt electronii unui anumit atom, ci electronii ai cristalului (metalul este cristalizat). Cînd acești electroni părăsesc atomul căruia îi aparțin, rămîne nesatisfăcută o legătură cu nucleul; restul de atom devine ion pozitiv. De cîte ori pleacă un electron dintr-un atom, acesta rămîne ion pozitiv.

Să vedem ce se întîmplă cu roiul de electroni care circulă printre acești ioni. În agitația lor, unii reușesc să treacă prin suprafața cristalului, dar nu se pot îndepărta fiind „rechemati” de cîmpul electric ce ia naștere între ei și cristal din cauza plecării lor. Mai simplu, prin ieșirea electronilor cristalul devine pozitiv și atrage înapoi electronii. Acest joc de plecare și de reîntoarcere dă naștere la un strat electric dublu la suprafața metalului, strat care constituie o adevărată barieră de potențial. Dacă metalul nu se află într-un cîmp exterior, electronii lui nu-l pot părăsi.

Acești electroni liberi din metal sînt purtătorii curentului electric. Vom putea explica acum legătura dintre temperatură și conductibilitatea electrică a metalelor.

Ca să se producă curent electric, electronii liberi din metal trebuie să se miște ordonat. Acest lucru se obține introducînd metalul într-un cîmp electric, de pildă în cîmpul electric dintre polii unui element galvanic; de poli se leagă sîrma metalică. Mișcarea devine atunci ordonată, într-o singură direcție de-a lungul cîmpului electric, electronii îndreptîndu-se spre polul pozitiv al sursei (element sau baterie) folosite.

De îndată ce am aplicat diferența de potențial și am creat cîmpul electric în sîrmă, electronii liberi sînt supuși unei forțe egală cu produsul dintre sarcina electronului și intensitatea cîmpului; ea este dirijată astfel, încît electronii sînt atrași spre polul pozitiv. Mișcarea sub acțiunea acestei forțe s-ar face din ce în ce mai repede dacă electronii nu s-ar ciocni de obstacole în drumul lor. Cele petrecute ne îngăduie însă să întrevădem ce este rezistența electrică și care sînt efectele temperaturii.

În adevăr, rezistența electrică nu este decît piedica pe care o întîlnesc în drum electronii. Ea provine din ciocnirile dintre electronii și ionii metalului, ciocniri care transformă o parte din energia cinetică a electronilor în agitație



termică a ionilor. Cu cât crește numărul de ciocniri, crește și agitația termică, adică temperatura.

Astfel se lămurește și încălzirea conductorului și descreșterea intensității curentului cu creșterea temperaturii; deci numărul mare de ciocniri are un dublu efect: slăbește curentul și încălzește materialul. Fenomenul de încălzire datorit trecerii curentului se numește efect Joule-Lenz; încălzirea este proporțională cu rezistența, cu pătratul intensității curentului și cu timpul și este rezultatul transformării energiei electrice în căldură.

Este ușor de înțeles că pentru un cîmp constant, adică pentru o diferență de potențial constantă între capetele conductorului, curentul va slăbi pe măsură ce conductorul se va încălzi.

Dacă sîrma este încălzită pe altă cale, se constată că rezistența ei este mai mare decît rezistența înainte de încălzire. Acest lucru se explică tot prin agitația ionilor, sporită prin încălzire și deci prin creșterea numărului de ciocniri dintre ioni și electroni cu creșterea temperaturii.

Așadar, prin agitația termică se explică modul de variație al rezistenței și al inversului ei, conductibilitatea, cu temperatura la metale.

Ce se întîmplă în cazul semiconductoarelor? Aici lucrurile se petrec invers. Cu cât le încălzim, cu atît ele conduc mai bine; cu cât le răcim, cu atît ele conduc mai puțin bine.

Dacă la metale am admis că în edificiul cristalin electronii sînt aproape liberi, trebuie să admitem contrarul pentru edificiul cristalin al semiconductoarelor. Trebuie să admitem că, deși atomii din care e format cristallul s-au apropiat foarte mult, totuși influența reciprocă a atomilor nu a fost în stare să libereze electronii. Aceștia rămîn legați de nucleu și-și continuă mișcarea în jurul lui. Ca să scoatem electronii de acolo trebuie să găsim un mijloc capabil să-i rupă de legătura lor cu nucleul. Numai atunci ei vor începe să se miște dirijat, obținînd astfel un început de curent. Un mijloc capabil de a-i rupe din legături este un cîmp electric foarte intens.

Dacă mărim agitația atomilor prin încălzirea materialului, atomii se pot ciocni atît de tare, încît să-și smulgă electronii și atunci apare un număr destul de mare de electroni liberi. Dacă materialul se află legat între polii unui element galvanic, atunci, cu ajutorul unui galvanometru legat în serie cu materialul și cu elementul galvanic, constatăm apariția unui curent. Acest curent se datorește electronilor liberați prin încălzire. Semiconductorul obținut pe această cale poartă numele de *semiconductor intrinsec*.

E ușor de înțeles de ce, dacă răcim acest material, conductibilitatea sa electrică se micșorează și el devine izolan. Pe măsură ce-l răcim scade agitația termică, nu se mai pot elibera atîtia electroni și curentul slăbește. La zero absolut încetează agitația termică și nu se mai eliberează electroni, n-are cine să mai conducă curentul și atunci materialul devine izolan. În concluzie, prin răcire, semiconductorul devine mai izolan, iar conductorul (metalic) devine mai conductor.

Faptul că se eliberează electroni prin ciocnire conduce la ideea că ar putea exista și alte mijloace de a libera electronii din semiconductoare. Aceste mijloace sînt de diverse naturi, de aceea trebuie să facem o mică digresiune.



Ținând seama de așezarea atomilor într-un cristal, s-a căutat a se vedea cum s-ar putea ca materialele zise semiconductoare, care au electronii strâns legați în atom, să cedeze mai ușor electronii fără intervenția șocului și agitației termice.

S-a descoperit un procedeu care dă rezultatele așteptate: în loc să se folosească corpul pur (format numai dintr-un anumit fel de atomi), se mai introduc

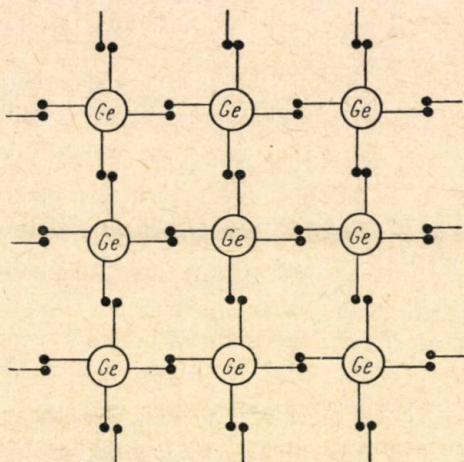


Fig. 1. Rețea cristalină de germaniu pur.

Legăturile dintre atomi sînt făcute de doi electroni aparținînd fiecărui atom. Fiecare atom este legat de vecinii lui prin patru legături duble prin intermediul celor patru electroni periferici ai fiecărui atom de germaniu.

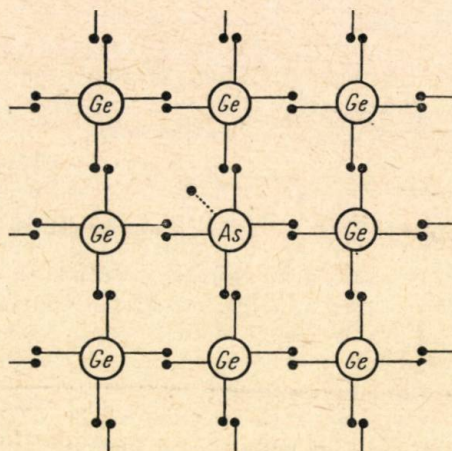


Fig. 2. Rețea cristalină de germaniu, cu un atom de arsen (pentavalent) în locul unui atom de germaniu.

O valență (adică un electron periferic) rămîne nefolosită căci atomul de germaniu n-are decît patru electroni de valență. Acest electron slab legat de atomul de arsen se poate mișca în rețeaua cristalină.

și atomi străini. Acești atomi străini — mult mai puțin numeroși decît atomii corpului inițial — aduc cu sine electronii lor, cu protonii lor, cu influența lor electrică și fac în așa fel încît legăturile dintre electronii și nucleul corpului cristalin inițial, care fusese pur înainte, să slăbească. Se obține astfel o slăbire a legăturilor din atomii cristalului, așa încît electronii vor putea fi puși în mișcare de un cîmp electric nu prea intens.

Prezența atomilor străini modifică oarecum topografia electrică a interiorului cristalului și face ca legătura dintre electroni și nucleul atomic să slăbească într-atît, încît un cîmp electric chiar slab, să poată produce curent de-a lungul semiconductorului. Se pune întrebarea: cum putem introduce atomii străini într-un cristal pur? Vom răspunde referindu-ne la cristalul de germaniu (fig. 1), căci acesta se studiază mai ușor. S-a purificat germaniul astfel încît la 100 de miliarde de atomi de germaniu să nu se găsească nici un atom străin. În acest cristal de germaniu s-au introdus anumiți atomi străini. După foarte numeroase încercări s-a ajuns la următorul rezultat: este bine să se introducă atomi ai elementelor din grupa a cincea a tabloului periodic al lui Mendeleev. De exemplu, s-au introdus în cristalul de germaniu atomi de arsen (fig. 2). Arsenul



(As) are cinci electroni periferici, deci valența cinci. Germaniul are numai patru electroni periferici. Experiența a mai arătat că trebuie să introducem foarte puțini atomi de arsen: un atom de arsen la un miliard de atomi de germaniu.

Purificarea germaniului se face prin *metoda topirii zonale*.

Topirea zonală constă în a face să se topească succesiv, datorită unui curent de înaltă frecvență, porțiuni subțiri dintr-un bastonaș de siliciu sau germaniu cât mai pur chimic. Părțile topite se încărcă cu impurități, astfel că zona superioară poate rămâne de o mie de ori mai pură decât fusese la început.

Repetându-se de trei ori topirea zonală cu bastonașe făcute din zonele purificate se ajunge la 1 atom de impuritate la 1 miliard de atomi de Si sau Ge.

Astfel de încercări s-au făcut și la noi, încă de acum mai bine de 10 ani, la Institutul de fizică atomică al Academiei R.P.R. și s-a ajuns la purificări foarte bune. Cercetări de felul acesta se fac și la Institutul de fizică din București și la institutele de cercetări ale unor ministere, mai ales de când problema semiconductoarelor a devenit o problemă de stat.

Prin procedeul topirii zonale se poate ajunge la gradul de puritate al unui semiconductor intrinsec. Acesta poate să devină un semiconductor dacă îl încălzim bine, după cum am văzut mai înainte. Dacă nu vom face așa, el rămâne tot izolant atâta timp cât nu vom pune în el alți atomi. Germaniul pur obținut (fig. 1) îl vom impurifica cu atomi de arsen. Aceștia gonesc din rețeaua cristalină (așa arată spectrul dat de radiațiile X) un atom de germaniu, îi iau locul și se leagă cu vecinii săi (fig. 2). Acești vecini au câte patru electroni periferici, arsenul are cinci, deci rămâne un electron stingher și foarte puțin legat de nucleul atomului de arsen. El poate fi pus în libertate chiar printr-o încălzire mică, care mărește agitația atomilor; atunci el va rătăci prin rețeaua cristalină. Bineînțeles că nu s-a așezat în această rețea numai un atom de arsen, s-au așezat câteva miliarde, dar numărul lor față de al atomilor de germaniu rămâne tot în cadrul raportului de unul la un miliard. Deci avem

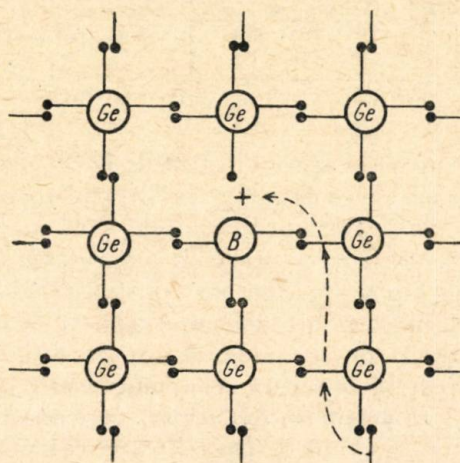


Fig. 3. Rețea de germaniu, cu un atom de bor (trivalent) în locul unui atom de germaniu. Cele trei valențe ale atomului de bor nu pot să satisfacă decât trei din cele patru valențe ale atomului de germaniu.



miliarde de electroni rătăcitori, care devin transportori de curent dacă semiconductorul astfel obținut este introdus în circuitul unei pile.

Am obținut acest semiconductor cu ajutorul atomilor de As, care au cedat electroni și l-au adus în starea de a conduce electricitatea. Acest fel de semiconductor are conductibilitate electronică și se numește *semiconductor de tip n* (sau negativ ori prin electroni).

Dacă, în loc de arsen, în germaniul pur s-ar introduce atomi de bor (grupa a treia din tabloul lui Mendeleev, căci are trei electroni periferici), atunci ar rămâne o valență nesatisfăcută pe atomul de germaniu și deci s-ar produce un fel de gol (fig. 3) pe care un electron de la un atom vecin vine să-l ocupe. În locul lui rămâne alt gol, și așa, din aproape în aproape, golul se mută dintr-un loc în altul. El are proprietățile unei sarcini pozitive, fără masă. Acest lucru este evidențiat prin aceea că atunci când golul se mișcă în cristal, lucrurile se petrec ca și când s-ar mișca sarcina pozitivă a ionului; curentul este deci transportat de aceste „sarcini pozitive”. Semiconductoarele de acest fel *sînt de tip p*. Atomul de arsen, care cedează electronul, se numește *donor* și devine *ion pozitiv* prin pierderea electronului. Atomul de bor, care primește electroni, se numește *acceptor* și devine astfel *ion negativ*.

Să ne întoarcem la germaniul pur. Acesta poate deveni semiconductor de tip *n* sau de tip *p*, după felul atomilor străini pe care îi introducem în el. La contactul dintre un astfel de semiconductor și un metal apare un strat de baraj.

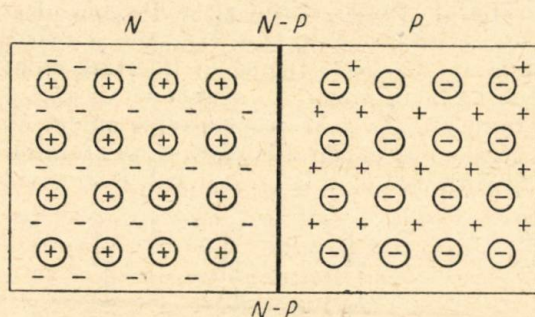


Fig. 4. Juncțiune *n — p*.

Tot astfel apare un strat de baraj, dar mai pronunțat, la contactul dintre cele două tipuri de germaniu. Stratul de baraj se poate realiza în interiorul aceleiași cristal, tratând diferit cele două părți ale sale.

Așa se procedează în majoritatea cazurilor. Partea care trebuie să devină de tip *n* se obține introducând *donori*, iar cea care trebuie să devină de tip *p* se obține introducând *acceptori*. Zona foarte îngustă care separă cele două tipuri de semiconductoare constituie așa-numita juncțiune. În figura 4 se vede că ea separă cele două tipuri.

În porțiunea din stînga, care este de tip *n* (conductoare prin electroni), am pus în evidență *donorii*, care, cedînd electronii reprezentați prin semnul (—),



au rămas ioni pozitivi (+), iar în cea din dreapta, care este de tip  $p$  (conducătoare prin goluri pozitive), am pus în evidență *acceptorii*, care eliberează goluri pozitive, notate prin (+), și primesc electroni devenind ioni negativi (-). Bariera de potențial  $n-p$  are o grosime de ordinul  $10^{-6}$  mm.

## STRATUL DE BARAJ

La suprafața de contact dintre un semiconductor și un metal apare un strat numit *strat de baraj*, căruia îi corespunde o diferență de potențial de contact. Apariția potențialelor de contact arată energii diferite de legătură a electronilor cu substanța căreia ei aparțin. La contact, electronii sau golurile trec în substanța în care energia lor de legătură este mai mică, încărcînd-o cu sarcina de semnul lor pînă ce diferența de potențial dată de ei compensează pe cea de contact. În semiconductoare, sarcinile formează un strat cu atît mai gros, cu cît conductibilitatea substanței este mai mică. Sarcina pozitivă se datorește ionilor de impurități rămași prin plecarea electronilor. Ea micșorează conductibilitatea stratului.

Dacă purtătorii de sarcini sînt „goluri“, acestea produc sarcina pozitivă prin acumularea lor în strat aproape de electrozi, depășind cantitatea de ioni negativi. Conductibilitatea crește în strat. Existența stratelor din apropierea electrozilor face ca rezistența semiconductorului să depindă de potențialul de contact al electrozilor. Alegerea electrozilor are, așadar, o mare importanță, căci putem obține rezistențe foarte mici prin aplicarea unor diferențe de potențial potrivite.

Rezistența stratului de baraj depinde și de sensul curentului. Curentul este mai intens cînd în strat electronii și golurile se mișcă unii către ceilalți, apropiindu-se. Cînd în stratul cu sarcini spațiale + dintr-un semiconductor electronic electronii îndepărtați formează cu sarcinile pozitive, în strat, un cîmp de un asemenea sens încît îndepărtează din el electronii, grosimea stratului crește, crescînd și rezistența. La inversarea cîmpului aplicat, stratul se subțiază și rezistența scade. Raportul dintre curenții de sens contrar, pentru aceeași diferență de potențial, se numește *coeficient de redresare* al contactului studiat. Acest coeficient poate atinge valori mari, prin urmare stratul posedă o rezistență foarte mică într-un sens, sensul de trecere, respectiv o rezistență foarte mare, devenind aproape un izolator, în sensul contrar. Dacă unui astfel de contact  $i$  se aplică o diferență de potențial alternativă, atunci într-un sens vor trece curenți intensi, iar în sens contrar curenți foarte slabi. Se realizează deci un redresor de curent. Astfel de redresoare cu semiconductoare au căpătat multe aplicații. Stratele de baraj joacă un rol important și în celulele fotoelectrice făcute din semiconductoare fotosensibile, avînd la suprafață un strat de baraj. Fotoelectronii eliberați de lumină trec prin stratul de baraj, creînd între electrodul exterior și semiconductor o diferență de potențial care dă un cîmp de cîteva zeci de mii de volți pe centimetru, cîmp care face să treacă



curenți ce pot ajunge pînă la densități cuprinse între  $10 \text{ mA/cm}^2$  (la  $\text{Te}_2\text{S}$ ,  $\text{Ag}_2\text{S}$ ,  $\text{CdS}$ ) și  $50 \text{ mA/cm}^2$  (la  $\text{Ge}$ ), adică de sute de mii de ori mai intenși decît la cele mai bune celule fotoelectrice cu vid. Acest tip de celule fotoelectrice au și avantajul că funcționează numai cu energie luminoasă, ele neavînd nevoie de nici o tensiune electromotoare exterioară. Celulele fotoelectrice din siliciu transformă 6% din energia luminoasă în energie electrică. Actualmente se caută mărirea randamentului acestor minunate surse de energie care transformă direct energia luminoasă în energie electrică. Această problemă se studiază și la noi în țară.

## FOTOCONDUCTIBILITATEA

Ciocnirea cu electroni rapizi sau cu particule  $\alpha$  care pătrund în semiconductor sau absorbția radiațiilor luminoase sau a radiațiilor X pot de asemenea elibera sarcini electrice. Absorbînd un foton de radiație luminoasă de frecvență  $\nu$ , electronul dobîndește o cantă de energie  $h\nu$ , unde  $h = 6,62 \cdot 10^{-27} \text{ erg} \cdot \text{s}$  este constanta de acțiune a lui Planck. Dacă  $h\nu > W_e$  ( $W_e$  fiind energia de eliberare a electronului), electronul devine liber și participă la curent. Conductibilitatea suplimentară datorită acestor electroni sau datorită găurilor ivite se numește fotoconductibilitate. Ea apare numai în cazul în care cuantele de energie  $h\nu$  satisfac inegalitatea menționată ( $h\nu > W_e$ ).

Între electronii eliberați de radiațiile luminoase și cei care se reîntorc în locurile rămase libere se stabilește un echilibru; concentrația purtătorilor de curent este aici mai mare decît la echilibrul termic. S-a putut arăta că mecanismul fotoconductibilității coincide, de regulă, cu acela al excitației termice (după Juze și Rîvkin).

## TENSIUNILE ELECTROMOTOARE

Iluminarea neuniformă a unui semiconductor produce în el concentrații de electroni și goluri, care diferă de la regiune la regiune. Acești purtători de sarcini se difuzează spre regiunile mai puțin luminate, dînd naștere unui cîmp electric, care duce la o stare de echilibru, la diferențe de potențial de  $0,1 - 0,2 \text{ V}$  între regiunile iluminate și cele neiluminate ale semiconductoarelor. Teoria acestui fenomen a fost dată de savantul sovietic L.D. Landau. S-a observat că, dacă la temperatura aerului lichid se iluminează oxid de cupru aflat într-un cîmp magnetic, atunci apar tensiuni electromotoare mari [pînă la  $15 \text{ V}$ ]; fenomenul a fost explicat prin acțiunea cîmpului magnetic asupra fluxurilor de electroni liberați de lumină și a golurilor corespunzătoare.



Explicația teoretică a fenomenelor din semiconductoare și a mecanismului curentului s-a găsit numai cu ajutorul mecanicii cuantice. Chiar conductibilitatea prin electroni și goluri, dovedită experimental în diferite semiconductoare, este supusă legilor mecanicii cuantice.

## DIODE

Folosind proprietățile contactelor (joncțiunilor), s-au obținut redresoare și amplificatoare de curent sau de tensiune. S-au construit dispozitive folosind contactul dintre un cristal și un vîrf metalic, altele folosind joncțiunea dintre cele două tipuri de cristale. Astfel, un dispozitiv compus dintr-un cristal de germaniu pe care se reazemă un vîrf foarte subțire de tungsten (wolfram), totul fiind închis într-un tub de sticlă protector (fig. 5), constituie o *diodă*. Curentul electric nu trece decît într-un sens prin acest contact. Dispozitivul este deci un redresor de curent și poate înlocui un tub electronic cu vid.

O diodă se poate obține și prin joncțiune, după cum se vede în figura 6.

Polul pozitiv al unei baterii  $B$  este legat la partea de tip  $n$ , unde sînt electroni liberi. Aceștia vor fi atrași spre acest pol pozitiv și se vor depărta de joncțiune (unde este stratul dublu, bariera de potențial). Polul negativ al bateriei, legat la partea de tip  $p$  (unde sînt golurile pozitive), va atrage aceste goluri, depărtîndu-le și pe ele de stratul de blocaj. Curentul electric nu se poate stabili, deci acest sens este sensul oprit.

Este ușor de văzut că, dacă inversăm legăturile și legăm polul negativ al bateriei la partea de tip  $n$ , acest pol va respinge electronii spre stratul de blocaj;

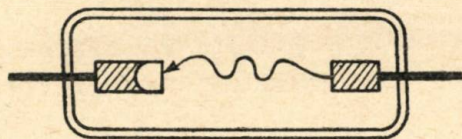


Fig. 5. Diodă cu vîrf și cristal.

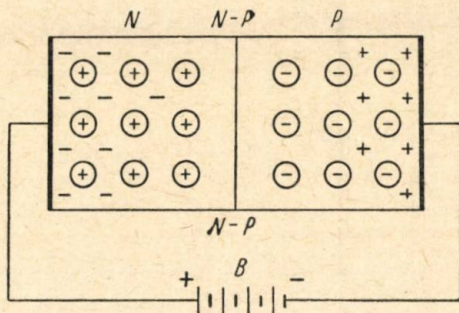


Fig. 6. Diodă cu joncțiune.

tot astfel, polul pozitiv, legat la partea de tip  $p$ , va respinge golurile pozitive spre stratul de blocaj, unde se vor întîlni cu electronii și astfel curentul se va stabili; acest sens, opus celui precedent, este deci sensul permis. Așa funcționează diodele cu joncțiune. Funcționarea diodelor cu vîrf (cu contact punctiform) este asemănătoare.



Dioda cu vîrf, avînd o capacitate foarte mică la contact, poate redresa curenți de frecvențe foarte înalte, dar de intensități mici. În schimb, cea cu joncțiune admite trecerea unor curenți mai intensi în sensul permis, care pot depăși  $10 \text{ A/cm}^2$ .

În multe cazuri, diodele cu semiconductoare pot înlocui tuburile electronice cu vid, redresoare de curent.

## TRANZISTOARELE

Cu semiconductoarele se pot realiza și dispozitive care, ca și tuburile electronice cu grilă, amplifică curenți și tensiuni mici; aceste dispozitive sînt *tranzistoarele*. Ele pot fi cu vîrf sau cu joncțiune (tranzistoarele cu vîrf se numesc în literatura de la noi tranzistoare cu contacte punctiforme).

*Tranzistoarele cu vîrf.* Pe un suport metalic numit *bază* (fig. 7) se sudează un cristal de germaniu foarte mic. Pe acesta se reazemă (apăsă) vîrfurile a două sîrme subțiri (diametru 0,15 mm) de tungsten (wolfram). Distanța dintre vîrfuri trebuie să fie cît mai mică cu putință. Se alege de preferință un cristal de tip *n*.

Vîrfurile *E*, numit *emitor*, fiind legat de polul pozitiv (+) al bateriei  $B_1$ , absoarbe electronii superficiali (—) din cristal, dînd un curent electronic care circulă prin bateria  $B_1$ , prin sîrmele ce trec prin punctele *A* și *B*, prin  $S_1$  în semiconductoare, apoi din nou prin *E*. În locurile liberate de electroni rămîn goluri, ca și cînd ar fi injectate de *emitor*. Aceste goluri se deplasează spre vîrfurile *C*, numit *colector*, care este legat la polul negativ al bateriei  $B_2$ . Astfel stau lucrurile în circuitul bateriei  $B_1$ . Ce efect are această circulație de sarcini asupra circuitului care cuprinde bateria  $B_2$ ? Vîrfurile colectorului, care e legat la polul negativ al

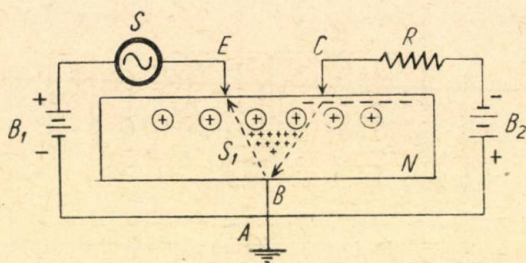


Fig. 7. Tranzistor cu vîrf, de tip *n*.  
 $S$  — semnalul de amplificat;  $R$  — rezistența circuitului colectorului.

bateriei  $B_2$  respinge electronii. Aceștia se unesc cu golurile care au reușit să vină de la emitor, dar o mare parte din ei străbat totuși cristalul prin *bază* și apoi trec prin bateria  $B_2$ , închizînd circuitul. Curentul prin acest circuit este cu atît mai intens, cu cît rămîn mai multe goluri necompensate de electroni în vecinătatea colectorului. Curentul din circuitul bateriei  $B_2$  (curentul care



trece prin colector) este mai intens (de 2—3 ori) decât cel din emitor și bateria  $B_1$ . Acest efect n-ar fi de mare folos dacă n-ar interveni și câștigul de rezistență, care este raportul dintre rezistența de intrare (rezistența circuitului emitorului) și aceea de ieșire (rezistența circuitului colectorului).

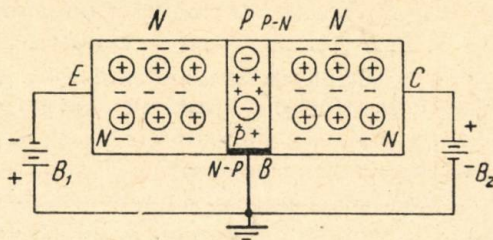
În felul acesta, dacă curentul de colector este de două ori mai intens decât cel de emitor, iar rezistența celui de-al doilea de 70 de ori mai mare, avem un raport mare între tensiunile din cele două circuite. Dacă curentul din circuitul de intrare (emitor) este de 1 mA și cel din circuitul de ieșire (colector) de 3 mA, iar rezistența din primul 300  $\Omega$  și rezistența celui de-al doilea 21 000  $\Omega$  (raportul 70), atunci tensiunea în primul va fi  $300 \cdot 0,001 = 0,3V$ , iar în al doilea va fi de  $21\,000 \cdot 0,003 = 61 V$ . Avem deci un câștig de tensiune (raport între tensiuni) de  $\frac{61}{0,03} = 2\,030$ . Acest raport este apropiat ca valoare de acela care

se poate obține în cazul tuburilor electronice cu vid, amplificatoare de tensiune. Câștigul de putere se calculează înmulțind câștigul de tensiune cu câștigul de curent. În cazul examinat avem un câștig de curent de  $\frac{0,03}{0,01}$  și un câștig de tensiune de  $\frac{61}{0,3}$ , adică un câștig de putere de  $\frac{0,03}{0,01} \cdot \frac{61}{0,3} = 3 \cdot 203 = 609$ .

Tranzistoarele cu joncțiune pot fi sau cu regiune comună  $n$ , adică  $p - n - p$ , sau cu regiune comună  $p$ , adică  $n - p - n$ . Și aici există un emitor ( $E$ ), un colector ( $C$ ) și o bază ( $B$ ), dar sînt două joncțiuni. În figura 8 se arată schematic funcționarea unui tranzistor cu regiune comună  $p$ .

Potențialul negativ al bateriei  $B_1$  împinge electronii (sarcinile negative) spre joncțiunea  $n-p$  pe care o străbat; o parte din ei neutralizează goluri pozitive din regiunea bazei ( $B$ ) care este de tip  $p$ . Mulți trec prin bariera  $p-n$  înspre colectorul  $C$ , atrași fiind de potențialul pozitiv (+) al acestuia. Numă-

Fig. 8. Tranzistor  $n - p - n$ .



rul celor care trec va fi cu atît mai mare, cu cît va fi mai mic numărul celor neutralizați de goluri între cele două joncțiuni în regiunea de tip  $p$  a bazei  $B$ . De aceea regiunea bazei  $B$  trebuie să fie foarte îngustă. Electronii trecuți și prin joncțiunea  $p-n$  trec prin colector și intră în bateria  $B_2$ , atrași fiind de polul pozitiv (+) al ei.



În locul golurilor neutralizate au apărut altele în regiunea bazei, eliberându-se electroni care închid circuitul emitor prin bateria  $B_1$ . Electronii, care au străbătut regiunea bazei și au trecut prin colector, închid prin bateria  $B_2$  circuitul acesteia. Variația curentului de emitor, determină o variație a curentului de colector. În cazul joncțiunilor  $p-n-p$  (fig. 9) lucrurile se petrec în

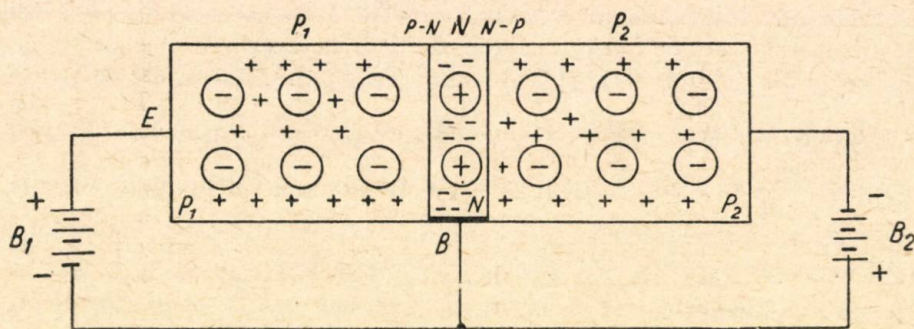


Fig. 9. Tranzistor  $p-n-p$ .

felul următor. Emitorul  $E$ , fiind legat de polul pozitiv al bateriei, respinge golurile (sarcinile pozitive) din  $p$ ; acestea străbat joncțiunea  $p-n$  în regiunea  $n$  a bazei  $B$ , o parte neutralizându-se cu electronii (sarcinile negative) dintre cele două joncțiuni (regiunea bazei  $B$ , care trebuie să fie cât mai îngustă ca să nu se piardă multe goluri). Cele care scapă trec prin joncțiunea  $n-p$ , fiind atrase de colector, care este negativ, deoarece e legat la polul negativ ( $-$ ) al bateriei  $B_2$ . În colector, golurile sînt neutralizate de electronii veniți de la bateria  $B_2$  și astfel se stabilește un curent de emitor, care circulă prin  $B_1, E, p_1, n, B, B_1$ , și un curent de colector, care circulă prin  $B_2, C, p_2, n, B, B_2$  și care depinde de cel din emitor. De cîte ori un gol este neutralizat de un electron în orice regiune, apare un nou gol prin acțiunea emitorului pozitiv, care eliberează electroni din atomii aflați în vecinătatea sa.

Astfel curenții sînt întreținuți. Atît tranzistoarele  $n-p-n$  cît și cele  $p-n-p$  funcționează la fel, cu singura deosebire că sînt polarizate invers. În toate cazurile, potențialul polului se adună algebric cu potențialul plăcii, determinat de sarcina ionilor pe care-i conține; astfel se obține mărirea sau micșorarea barierelor de potențial ale joncțiunilor. Și în cazul tranzistoarelor cu joncțiune se realizează un câștig de rezistență, un câștig de tensiune și deci un câștig de putere. Tranzistorul cu joncțiune însă nu amplifică curentul, ca cel cu vîrf, ba chiar curentul lui de colector este mai mic decît cel de emitor; în schimb, câștigul de rezistență este mult mai mare.



## COMPARAȚIE ÎNTRE TUBURILE ELECTRONICE CU VID ȘI DISPOZITIVELE CU SEMICONDUCTOARE

Diodele și tranzistoarele au întrebuințări foarte numeroase și pot înlocui tuburile cu vid în multe cazuri, dar nu încă în toate. De aceea o comparație între tuburile electronice și dispozitivele cu semiconductoare nu este de prisos.

Micul cristal de galenă a fost primul semiconductor folosit în radiocomunicații. Proprietățile sale de redresor de curent se datoresc stratului dublu de blocare (baraj) care se formează la contactul cu vârful metalic din cauza impurităților ce conține. În acest strat există un câmp electric care lasă să treacă electronii într-un sens și îi împiedică să pătrundă în sens contrar. Tot pe existența stratului de baraj se bazează funcționarea redresoarelor moderne cu alte semiconductoare, cum ar fi: protoxidul de cupru, seleniul, sulfura de cupru, germaniul, siliciul etc. Randamentul redresoarelor cu seleniu ajunge până la 90%. Trebuie subliniat că încă din anul 1922, cristalele au fost utilizate pentru amplificarea și generarea oscilațiilor electrice, dar această descoperire a fost multă vreme neglijată din cauza tuburilor electronice cu vid, care erau o noutate și aveau însușiri asemănătoare celor descoperite în cazul cristalelor. Utilizându-se tuburi electronice cu vid nu era nevoie de cască de ascultare, căci în ele un semnal foarte slab recepționat este amplificat foarte mult, adică variații foarte mici ale câmpului produc variații mari ale fluxului de electroni din tub. Datorită tuburilor electronice s-au dezvoltat radiotehnica, televiziunea, radiolocația, radionavigația, cinematograful sonor, magnetofonul etc. Dar tuburile electronice au și slăbiciuni: se ard, sînt fragile, fiind de sticlă, au viață prea scurtă, sînt prea mari (ocupă o cameră întreagă în mașinile de calcul, unde se folosesc mii de tuburi). Azi tuburile electronice se fac și din metal sau din mase plastice, dar vidul, la care nu se poate renunța, rămîne dificultatea cea mai mare din tehnica construcției lor.

Vechile idei au fost reluate și, pe baza cunoștințelor moderne, s-au realizat dispozitive cu cristal care rivalizează cu tubul electronic; au apărut triodele cu cristal (tranzistoare). Ele se fac din germaniu, care a devenit azi extrem de important ca material de bază al dispozitivelor înlocuitoare de tuburi electronice cu vid. Tranzistorul cu vîrf este foarte mic (cu înveliș cu tot este cît un bob de mazăre). După cum am văzut, tranzistorul are trei electrozi: emitorul corespunde catodului din tubul electronic cu vid, colectorul anodului, iar baza grilei. El se conectează în circuitul de amplificat altfel decît tubul electronic: sursa de semnale modulatorie, între bază și emitor, ca să evite obstacolul stratului de baraj; tensiunea de amplificat, între colector și bază, printr-o rezistență, în sens opus pentru împiedicarea curentului de stratul de baraj. Aplicînd semnalul de comandă, gurile vor fi injectate de emitor în zona electronică și ajung sub colector. Stratul de baraj capătă conductibilitate electronică în acest punct. Curentul de înaltă tensiune dintre bază și colector străbate atunci bariera în sensul interzis. În circuitul exterior apare semnalul amplificator, cu atît mai puternic cu cît capetele sîrmuțelor emitorului și colectorului sînt mai apropiate (vezi fig. 7). Tranzistoarele cu joncțiune (fig. 8 și 9) au un cris-



tal care prezintă trei regiuni, cu conductibilitate electronică și cu goluri așezate alternativ. Ele sînt mai simple, mai durabile și lasă să treacă curenți mai intensi. Contactele nu se fac prin fire subțiri, ci prin plăcuțe. Tranzistoarele sînt foarte economice, nu au filament încălzit, sînt mici și au un randament pînă la 60%, în timp ce tubul electronic cu vid, la randament egal, este mult mai mare, mai vulnerabil și mai scump. Dar dispozitivele cu semiconductoare au și neajunsuri: în cristal electronii se mișcă mai încet decît în vid, de aceea nu pot urmări frecvențele foarte înalte ale oscilațiilor electrice. S-au încercat și realizat dispozitive cu semiconductoare care pot amplifica curenți de frecvență de 10 000 000 de oscilații pe secundă. Dispozitivele cu patru zone de semiconductoare diferite sînt capabile de frecvențe pînă la mii de milioane de oscilații pe secundă; cele mai mari frecvențe rămîn însă tot numai tuburilor electronice cu vid. Alte inconveniente ale dispozitivelor cu semiconductoare îl constituie faptul că nu pot fi de mare putere și că se modifică cu temperatura. Germaniul se modifică destul de mult, siliciul mai puțin, e mai stabil.

Pînă nu vor fi bine puse la punct tranzistoarele nu vor putea înlocui peste tot tuburile electronice cu vid.

Atît tuburile electronice cu vid, cît și dispozitivele cu semiconductoare se perfecționează încontinuu. Realizarea dispozitivelor cu semiconductoare cere o muncă de mare precizie din pricina micimii pieselor ce se assemblează. Lucrul manual este greu și lung, de aceea se caută procedee de automatizare a diferitelor operații cerute de realizarea tranzistoarelor, care sînt necesare în număr din ce în ce mai mare. Dimensiunile minuscule ale tranzistoarelor au necesitat reducerea dimensiunilor celorlalte elemente ale dispozitivelor care le folosesc. Ca să se micșoreze, de pildă, bobinele de inducție și transformatoarele, s-au folosit substanțele numite *ferite* pentru miezurile acestora. Feritele sînt confecționate din oxizi de fier și de alte metale, avînd proprietăți electrice și magnetice remarcabile. Unele se magnetizează și demagnetizează foarte repede, urmînd instantaneu chiar variațiile cîmpurilor magnetice slabe, așa că o mică vergea de ferită montată în cutia aparatului radioreceptor poate servi ca antenă; o vergea de 20 cm înlocuiește o antenă de mai mulți metri. O spirală mică de substanță bună conducătoare de electricitate aplicată cu o pensulă pe o plăcuță de ferită (adică desenată) va juca în aparatul de radio rolul unei mari bobine de inducție din sîrmă. Spirala poate fi imprimată, ca și conductoarele și rezistențele și condensatoarele, cu titanați de bariu. Titanații au proprietăți prețioase. Cu ei se pot construi condensatoare minuscule, numite vari-conde, și alte dispozitive. Astfel, instalațiile radiotehnice complicate pot căpăta dimensiuni foarte mici. Se caută posibilitatea de realizare prin imprimare a acestor instalații. Ele vor fi atunci cît o carte poștală sau chiar cît o marcă poștală și nu vor avea nevoie decît de o sursă de energie de mică putere. Va fi de ajuns ca sursă de energie electrică o mică baterie, mai mică decît un chibrit, cîntărind cinci grame și putînd servi un an. Există și baterii cît un nas-ture, cu durata de doi ani.



## CITEVA APLICAȚII ALE SEMICONDUCTOARELOR

**Termistorul.** Dacă pe o lamă de sticlă se așterne un strat semiconductor și se fac contacte cu sîrmulițe la capetele acestuia, apoi se leagă la o baterie și la un galvanometru, se obține un termometru electric cu semiconductor, adică o termorezistență, sau un termistor.

Rezistența stratului semiconductor se micșorează cînd temperatura stratului crește, iar curentul indicat de galvanometru devine mai intens.

Acest termometru este foarte sensibil, măsoară diferențe foarte mici de temperatură, poate fi construit cît de mic și așezat oriunde, de aceea a căpătat aplicații foarte variate.

Poate fi folosit pentru măsurat temperatura camerelor, a cerealelor, a pămîntului la suprafață și în adîncime, a aerului și deasupra norilor; poate măsura temperatura de la distanță. Termistoarele pot avea dimensiuni foarte mici, cît o gămălie de ac sau chiar cît un fir de păr, prin urmare pot fi folosite în biologie și în medicină. Ajung repede, aproape instantaneu, în echilibru termic cu locul pe care sînt aplicate. *Termistorul „Ac”* are forma unui creion ascuțit, dar ascuțișul este o sferă mică de tot cu diametrul cît grosimea unui fir de păr. Sfera e protejată de un strat de sticlă foarte subțire. În ea pătrund două fire foarte subțiri de platină prin care trece curentul. Termometre de acest fel pot fi introduse direct în esofag sau în stomac. Termistoarele pot măsura temperaturi de la  $-70^{\circ}\text{C}$  pînă la  $+250^{\circ}\text{C}$ . Pentru temperaturi mari ca cele din cuptoare, se confecționează vergele din materiale izolante, care devin semiconductoare la temperaturi înalte, dar ele sînt greu de folosit din cauza legăturilor prin sudură cu galvanometrul, suduri care se strică la temperaturile de lucru. Pentru astfel de temperaturi mari se folosește *bolometrul*.

Acesta constă dintr-o lamelă (termistor) termorezistentă, foarte mică, vopsită în negru și închisă într-un balonaș de sticlă din care s-a scos aerul. Culoarea neagră absoarbe toată energia radiantă care cade pe ea și încălzește lamela-termistor, făcută dintr-un semiconductor foarte sensibil la variații de temperatură. Cu acest aparat se poate măsura temperatura din cuptor, după poziția maximului energiei radiate de acesta, cu o precizie pînă la a suta mia parte dintr-un grad. Tot de la distanță se poate măsura și temperatura corpurilor calde obscure, prin repartitia energiei în spectrul infraroșu. Bolometrul e foarte sensibil: simte o țigară aprinsă la cîțiva kilometri. S-a făcut și experiența cu o rază infraroșie trimisă în Lună și reflectată de aceasta. La înapoiere a fost simțită de un bolometru cu semiconductor.

*Termistorul avertizor* constă dintr-un termistor minuscul în serie cu un releu care pune în legătură o baterie cu un mic bec. Este de ajuns să sufli peste termistor ca el să se încălzească și să devină atît de bun conductor, încît curentul condus prin el să crească și să acționeze releul, care aprinde becul. Acesta se stinge apoi, căci termistorul se răcește repede.

Termistorul poate fi folosit ca regulator al curentului de gaz care circulă spre orăș. Reglarea se face printr-un termistor așezat în curentul de gaz și străbătut de un curent electric slab. Cînd viteza gazului crește, termistorul se ră-



cește și curentul electric prin el scade. Această variație de curent acționează niște dispozitive care readuc viteza gazului la normal.

În uzine, motoarele trebuie să pornească pe rînd, pentruca variația sarcinii pe rețea să nu fie prea bruscă. Ca să se realizeze o astfel de pornire, motoarele sînt prevăzute cu semiconductoare prin care vine curentul la ele. Cînd sînt reci, aceste semiconductoare lasă să treacă puțin curent; încălzindu-se prin trecerea curentului, ele devin mai bune conducătoare și curentul crește. Cînd se ajunge la normal, semiconductoarele sînt scoase automat din circuit. Fiecare motor are un semiconductor diferit, astfel reglat încît motoarele pornesc pe rînd.

Furnalele funcționează cu foarte multe automate, dintre care unul este regulatorul automat de umiditate. O termorezistență pusă în curentul de aer suflat în furnal este acoperită cu o fișie de pînză umezită artificial în permanență. Evaporarea răcește pînza. Dacă aerul suflat e mai uscat, evaporarea se face mai repede, răcirea pînzei este mai mare și deci răcirea termorezistenței este mai mare. Prin aceasta curentul variază și comandă un aparat care restabilește umiditatea.

Alte dispozitive reglează temperatura aerului suflat și cantitatea lui. Termistoarele fac furnalelor nenumărate servicii; ele au foarte variate aplicații și în alte locuri de producție.

**Termoelementul.** Dacă se folosesc două semiconductoare în formă de bară — unul electronic și celălalt prin goluri — și sudăm barele, obținem un cuplu termoelectric, sau un termoelement. Încălzind sudura, la capetele reci apar sarcini electrice de semne contrare. Cu astfel de elemente legate convenabil în serie și în derivație s-au obținut baterii capabile să facă să funcționeze aparate de radio cu ajutorul căldurii primite de la o lampă cu petrol. Termoelementele, față de alte surse de energie electrică, au avantajul că transformă direct energia calorică în energie electrică; însă randamentul este încă mic și deci nu pot înlocui centralele electrice, dar se caută creșterea randamentului. S-a emis ideea folosirii căldurii care se pierde la gazificarea subterană sau a celei pierdute în fabrici. S-a propus înconjurarea sondelor cu termoelemente din semiconductoare și așezarea termocuplurilor în coșurile fabricilor.

**Răcitoare cu semiconductoare.** Acestea se bazează pe răcirea uneia din suduri și încălzirea celeilalte la simpla trecere a curentului prin cuplul termoelectric. Este efectul descoperit de Peltier în 1834 și care îi poartă numele. Asociind astfel de elemente și trecînd curentul prin ele, se obține scăderea temperaturii la o sudură pînă sub  $0^{\circ}\text{C}$ , cealaltă încălzindu-se. Inversînd curentul, se inversează și temperaturile sudurilor. Astfel, dacă sudurile reci sînt într-o încăpere, ele o răcesc. Dacă inversăm curentul, ele încălzesc încăperea. Putem obține frig dau căldură după voie. Asociate aceste aparate cu termoregulatele cu termistoare, ele pot aduce mari servicii. Se pot face de orice dimensiuni pentru orice întrebuintări, fie gospodărești, fie industriale, fie medicale, științifice, biologice etc. Cînd procedeul va fi pus la punct și din punct de vedere economic, se vor putea încălzi apartamentele igienic și curat.



**Fotorezistențele.** Seleniul iluminat devine bun conducător de electricitate. Așa cum am mai arătat, lumina care cade pe el eliberează electroni din atomi și creează goluri. Aceste goluri sînt purtătoare de sarcini și transportă curentul cînd sînt supuse unui cîmp electric. Seleniul este, așadar, o fotorezistență. Se cunosc azi fotorezistențe din diferite materiale. Ele sînt de o mie de ori mai sensibile decît ochiul, dar reacționează mai încet decît celulele fotoelectrice cu vid, sînt însă ușor de fabricat, sigure, durabile, ieftine. Există fotorezistențe pentru radiații infraroșii, pentru radiații ultraviolete, pentru radiații X, pentru radiații  $\gamma$ .

Fotorezistențele se întrebuintează în tehnica securității muncii. De pildă, o presă se oprește imediat cînd mîna omului se găsește în spațiul periculos și interceptează fasciculul de lumină, care cade permanent pe fotorezistență.

Tot astfel, dacă un loc e periculos, el se înconjură de o așa-zisă ștafetă, adică de o radiație care trece din oglindă în oglindă și cade pe o fotorezistență. La orice trecere a omului radiația este întreruptă și fotorezistența acționează dispozitivele care înlătură pericolul, de exemplu întrerup tensiunea înaltă dacă aceasta e cauza pericolului.

Cu ajutorul fotorezistențelor se construiesc mașini care citesc. Orbii, ca să citească, pipăie semnele în relief în cărți speciale pentru ei. Cu ajutorul fotorezistențelor ei pot citi orice carte, căci imaginea literei, căzînd într-un cilindru ce se plimbă deasupra rîndurilor, face să apară și să dispară sub degetul cititorului cuiele din 6 găuri. Aranjamentele cuiele din găuri corespund literelor.

În alte aparate, fotorezistențele sînt legate de oscilatoare electrice de joasă frecvență, care produc într-un difuzor sunete muzicale și acorduri ce se succed repede și constituie un fel de vorbire pe care o învață repede orbii.

Fotorezistențele sînt utilizate și în alte foarte numeroase și variate aplicații. Multe aplicații au și celulele fotoelectrice cu strat de baraj.

**Eritrohemometrul.** O aplicație a fotocelulelor cu strat de baraj este *eritrohemometrul*. Acesta este un aparat care numără globulele roșii din sînge, adică eritrocitele. El constă dintr-o cutie de mărimea unei mașini de scris, care conține un bec, filtre colorate, casete pentru eprubetele de sticlă cu sînge și celulă fotoelectrică. La exterior este un galvanometru. Sîngele diluat într-o soluție specială se toarnă într-o eprubetă care se introduce în aparat. Lumina becului trece prin filtru pentru infraroșu, străbate sîngele și cade pe celula fotoelectrică. Cu cît sînt mai multe globule roșii cu atît trec mai puține raze pe celulă și curentul e mai slab. Acul aparatului arată numărul eritrocitelor. Cu eritrohemometrul se poate determina și cantitatea de hemoglobină din sînge. Operațiile arătate aici se fac astfel cu mult mai repede decît în practica curentă.

**Oxihemograful.** În chirurgie controlul oxigenului în sîngele pacientului în timpul operației este absolut necesar pentru a da acestuia oxigen la nevoie. Controlul se face azi cu oxihemograful. O celulă fotoelectrică cu seleniu primește lumina unui bec filtrată care a intrat prin partea subțire a pavilionului urechii. Celula parcă vede prin transparentă dacă sîngele este bogat în oxigen



sau nu, mai roșu sau mai puțin roșu. Când e bogat în oxigen e mai deschis și celula primește mai multe raze. Dacă e mai închis, trebuie să se dea oxigen pacientului. Aceste operații sînt comandate de celulă și se fac automat, așa că chirurgul poate opera fără grijă.

**Dispozitive speciale.** Dacă se conectează o fotodiodă de germaniu cu strat de baraj și o fotorezistență în serie cu o mică baterie electrică de joasă tensiune, obținem un dispozitiv care reacționează foarte puternic sub acțiunea razelor infraroșii. Mai perfecționată este fototrioda, sau fototranzistorul, deoarece amplifică semnalul electric produs de energia luminoasă. Sensibilitatea acestor dispozitive este surprinzătoare. Cu ele se poate descoperi în întuneric un avion, se poate întocmi harta radiației termice a planetei Marte. Ele simt energia luminoasă a unui chibrit aprins în Lună, deci la o distanță de 380 000 km. Aceste aparate reacționează instantaneu, de aceea pot căpăta foarte multe aplicații; una este reproducerea sunetelor în cinematografie. Cu ajutorul razelor de lumină se realizează telefonul optic, lama vibrantă întrerupînd o rază subțire de lumină în ritmul semnalului dat de microfon. Convorbirea este transmisă prin aceste raze modulate. Celula fotoelectrică receptoare captează licăririle luminoase și le transformă în curent pentru casca telefonică. Transmisia se poate face și mai comod prin raze infraroșii, care nu se văd și care străbat și prin ceață și negură. Transparența cristalului de germaniu pentru infraroșu variază cînd variază tensiunea electrică la care e supus. Această schimbare are loc pe stratul de baraj. Raza este cînd oprită, cînd lăsată să treacă, căci stratul pulsează. Astfel se explică telefonul optic. O diodă de germaniu alimentată de curentul variabil amplificat al microfonului în care vorbim este pusă în calea razelor infraroșii ale unui bec. Sunetele, prin acest curent, produc vibrația transparenței cristalului pentru infraroșu. Raza își modifică intensitatea în ritmul curentului microfonic. Fotodioda receptoare primește clipirile acestea și le transformă în curenți care, amplificați, pot reproduce vibrațiile sonore. Aceste transmisiuni sînt perfect direcționale.

**Folosirea energiei radiațiilor solare.** Cu ajutorul semiconductoarelor se poate capta și utiliza energia razelor solare. S-au construit în acest scop baterii cu siliciu. Siliciul curățat de impurități s-a topit, apoi s-au obținut monocristale din care s-au tăiat plăcuțe subțiri. Pe o față a acestora s-a aplicat un strat extrem de subțire de bor; atomii de bor au pătruns foarte puțin în siliciu. Plăcuțele s-au acoperit cu o pojghiță de metal pe ambele părți. De la aceste pojghițe s-au tras fire subțiri. Plăcuțele s-au așezat pe monturi de masă plastică și s-au legat între ele prin conductoare. S-a obținut astfel bateria de celule fotoelectrice cu strat de baraj. Pe partea unde este bor, siliciul are conductibilitate prin goluri, dedesubt prin electroni. Între zona cu goluri și cea cu electroni este stratul de baraj. Expusă Soarelui, bateria dă curent și produce o putere electrică de 120 W de fiecare centimetru pătrat de suprafață iluminată de radiațiile Soarelui căzînd perpendicular pe ea. Această putere poate alimenta trei motoare de mașină de cusut. Randamentul acestei



transformări a energiei solare în energie electrică este de aproximativ 11%, dar poate ajunge pînă la 22%. O celulă fotoelectrică cu sulfură de cadmiu cu strat de baraj are randamentul 18%. Dacă am avea o baterie din astfel de celule pe o suprafață de 1,2 m lățime și 4,5 m lungime și groasă cît un fagure așezată pe acoperișul unei case mici, ea ar putea îndești cu energie electrică toate cerințele traiului: lumină, reșouri electrice, aspiratoare, răcitoare, radio, televiziune. În timpul zilei bateria captează energia solară și satisface nevoile de energie electrică, iar cu prisosul încarcă acumulatorul pentru noapte. O combinație de antimoniu cu aluminiu ar avea un randament mai mare ca substanțele folosite pînă acum. Tot așa combinația de antimoniu și indiu.

Se pare că bateriile solare vor avea un viitor strălucit. Ele vor pune la dispoziția fiecăruia o energie care nu costă nimic și se pierde în zadar. Teoretic se arată că randamentul celulelor fotoelectrice cu strat de baraj poate deveni chiar 50%. Ne putem deci imagina că va veni vremea cînd vom putea cumpăra o pînză fotoelectrică cu metrul, pe care s-o desfășurăm în fața Soarelui oriunde ne-am găsi și am obține energie electrică ca de la o mică centrală. S-au construit deja în Elveția ceasornice de mînă care merg datorită energiei luminoase. În America s-au construit mici automobile care merg cu energia electrică produsă de celule fotoelectrice cu strat de baraj așezate în baterie pe acoperișul lor. Energia prea mică pentru automobilele puternice, utilizabile, va putea totuși constitui o rezervă capabilă a duce vehiculul la proxima stație de alimentare cu benzină. Vehiculele de mică putere (2—3 cai) vor putea fi în curînd mișcate de energia solară. Chiar și șlepurile de pe fluvii, fiindcă au o mare suprafață luminată de Soare, pot fi mișcate de energia solară prin intermediul celulelor cu strat de baraj.

Navele interplanetare sînt deja înzestrate cu baterii solare, care funcționează ireproșabil dacă sînt apărate de acțiunea radiațiilor din spațiul cosmic, radiații care le degradează destul de repede. Calculul arată că 10 m<sup>2</sup> de suprafață înzestrată cu astfel de celule cu randament de 10% culeg în timp de trei luni de zbor al rachetei energia dată prin ardere de o tonă de combustibil. Accelerarea acestei mase de combustibil cere încă alte tone de combustibil. Deci prin folosirea semiconductoarelor navele-rachetă vor deveni mai ușoare. O suprafață de 3—4 km<sup>2</sup> de deșert sau de pămînt impropriu agriculturii acoperită cu celule fotoelectrice ar produce energie cît hidrocentrala de la Kuibîșev. Dacă s-ar asocia termobaterii cu fotobaterii pentru infraroșu și cu fotobaterii pentru vizibil s-ar folosi atît lumina, cît și căldura Soarelui. Coastele munților, acoperișurile și pereții caselor, ai fabricilor etc. ar putea capta lumina și căldura Soarelui.

**Fotosinteza.** Combustibilii cunoscuți provin în mare parte din vegetale care nu conțin decît minerale, apă, aer. O mică parte din energia solară, abia 1%, este absorbită de frunzele verzi în care se produce fotosinteza acestor substanțe. Această energie se eliberează cînd ardem cărbunele, care provine din plante străvechi. Știința și-a propus să întreață fotosinteza naturală, folosind pro-



prietățile semiconductoarelor. Luminînd pelicule solide de semiconductoare colorate, se obțin procese electrice asemănătoare celor ce se petrec în frunzele verzi vii. Producerea compuşilor chimici din plantă prin energia fotoelectrică astfel obținută nu s-a izbutit încă, dar cercetările ce se fac pentru această a doua etapă sînt promițătoare. Este probabil că intervin proprietățile catalitice ale semiconductoarelor organice ce s-ar afla în plante.

Dacă reușesc, razele Soarelui vor putea produce în abundență substanțele pe care le produc plantele și care au atîtea întrebuințări: combustibili și materie primă prețioasă pentru industrie și construcții etc.

**Cataliza.** Fizica semiconductoarelor îmbogățește știința și tehnica. Se pare că semiconductoarele sînt și catalizatori, adică substanțe care accelerează procese chimice, jucînd rolul de intermediari. Chimistii și-au dat seama tîrziu că în cataliză au de-a face cu procesele electronice din semiconductoare.

Fizica semiconductoarelor a intervenit și în fiziologie, căci procesele care interesează nervii se explică ușor dacă se admite că anumite formații structurale ale acestora sînt redresoare cu semiconductoare.

Și la noi există cercetători care au obținut rezultate importante în studierea semiconductoarelor organice solide.

**Bateria atomică cu semiconductoare.** Această baterie este un fel de celulă fotoelectrică cu semiconductoare cu strat de baraj, dar în loc de lumină sursa de energie este o substanță radioactivă. Aceasta emite electroni de mare energie, care pătrund în siliciu și eliberează fiecare cam cîte 200 000 de electroni de conductibilitate care formează curentul. Și la aceste baterii, ca și la cele solare, se folosește o joncțiune  $p-n$  din interiorul cristalului de siliciu sau de germaniu, cristal care este conectat la un circuit exterior prin conductoare sudate la fiecare din regiunile  $p$  și  $n$ . Acțiunea ionizantă a radiațiilor

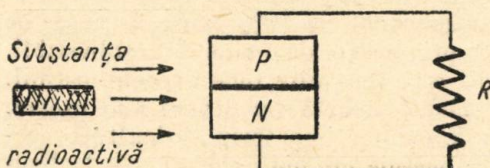


Fig. 10. Celulă atomoelectrică cu joncțiune  $p-n$ .

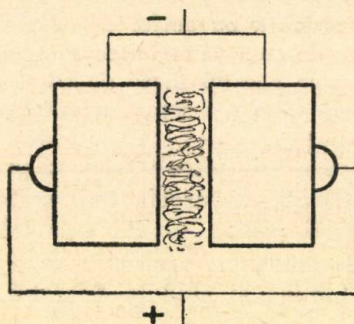


Fig. 11. Baterie atomoelectrică cu două celule în paralel.

emise de substanța radioactivă folosită constă în producerea de electroni liberi și de goluri care se difuzează spre joncțiune și dau naștere tensiunii electromotoare a bateriei, care debitează apoi curent în circuit. În figura 10 este prezentată schematic o baterie atomică cu o celulă, iar în figura 11 o baterie atomică



cu două celule legate în paralel; un strat de substanță radioactivă este cuprins între două joncțiuni  $p-n$ .

Unele aparate de radio cu semiconductoare sînt alimentate prin celule fotoelectrice cu strat de baraj, care captează și rețin energia luminoasă. S-au construit aparate de radio de buzunar care, după ce au fost expuse la lumină cîțva timp, pot să funcționeze apoi 500 de ore. Ele nu cîntăresc decît 280 g.

S-au realizat posturi de radio minuscule cu semiconductoare, fără baterii, alimentate numai cu energia electrică produsă prin transformarea energiei vibrațiilor sunetelor vocii care se transmit prin radio, căci microfonul în fața căruia se vorbește transformă energia vibrațiilor sonore în energie electrică sub formă de curent variabil. Din acesta o parte merge la emițător, unde este amplificată și transformată în unde electromagnetice radio, iar altă parte este împărțită într-un dispozitiv special în alte două: una alimentează cu curent același emițător, alta receptorul care primește semnalele de răspuns. Tot acest sistem încapă în cutia microfonului.

**Miniaturizarea aparatelor și inovații.** Este efectul căutării echipamentului celui mai bun în volumul cel mai comod. Radioreceptorul cît o tabacheră poate fi purtat în buzunar. O instalație de emisiune și recepție poate încăpea într-o cutie de chibrituri. Aparatul telefonic al viitorului ar fi o placă micuță sau un stilou. Firele vor fi inutile, legăturile se vor face prin unde scurte cu automobilele, avioanele, trenurile, pietonii etc. Avem de-a face cu domeniul telecomunicațiilor zise „universale”.

Pe de altă parte, aparatajul cu semiconductoare poate fi făcut atît de rezistent, încît să reziste la cele mai violente șocuri. El poate fi montat în rachete, în proiectile de artilerie și funcționează fără greș.

Zilnic se fac descoperiri și noi aplicații; magnetofone cît o călimară, televizoare cu ecran plat, fără kinoscop cu vid. Se așteaptă televizoare și video-telefoane de buzunar.

S-au construit instrumente muzicale cu tuburi electronice și orgi electrice cu tranzistoare. Este de prevăzut că vor apărea și aparate electromuzicale cu timbre noi. Dar culmea electronicii sînt mașinile de calculat, care execută calcule foarte complicate extrem de rapid, comandă mașini, traduc texte dintr-o limbă într-alta și rezolvă probleme de șah. Aceste mașini ocupă săli mari, chiar clădiri întregi, căci au mii de tuburi electronice. Înlocuirea acestor tuburi prin tranzistoare micșorează mult volumul mașinii. Mașinile devin mai ușoare, consumă energie mult mai puțină și funcționează mai sigur. O rondelă mică de ferită poate înlocui trei tuburi cu vid, alte ferite sînt celule de memorie ale mașinii etc. Micșorate cu ajutorul semiconductoarelor, mașinile vor deveni mijloace de mecanizare universală atît a muncii fizice, cît și a celei intelectuale. Ele vor servi pe meteorologi, contabili, bibliotecari, dispaceri, vor dirija circulația, vor comanda zborul avionului, în uzine vor controla și modifica procesul tehnologic, etc., totul fără greș, grație semiconductoarelor.



Am arătat marea importanță ce se dă în toate țările, și mai ales în țările socialiste, cercetărilor din domeniul semiconductoarelor și perspectivele ce se deschid tuturor ramurilor de activitate prin realizarea și folosirea mașinilor electronice de calcul, care funcționează încă cu tuburi electronice, dar care în curînd vor funcționa cu semiconductoare și vor avea dimensiuni mult mai mici. Am subliniat totodată și eforturile cu remarcabile rezultate ce se fac la noi în țară și contribuția cercetătorilor noștri tineri sub conducerea pricepută a îndrumătorilor mai vîrstnici, la progresul fizicii semiconductoarelor și al realizării de noi aplicații.

Mai sînt însă multe studii de făcut, teoretice și practice, asupra semiconductoarelor nu numai cristaline, dar și vitroase, lichide, minerale și organice.

În țara noastră se acordă o mare importanță acestor studii; un număr mare de cercetători lucrează intens în institutele de fizică ale Academiei și ale ministerelor, în universități și politehnici, în fabrici și în centre speciale. În Institutul de fizică atomică se continuă studii începute încă în 1952. Mai tîrziu, Institutul de fizică din București a dat o deosebită dezvoltare acestui domeniu după ce problema semiconductoarelor a devenit o problemă de stat.

S-au întreprins de atunci un număr important de lucrări practice și teoretice, cu rezultate care dovedesc că dispunem deja de cercetători formați, capabili de a rezolva problemele spinoase ce-și așteaptă încă soluționarea.

Prin munca neobosită a oamenilor de știință se vor obține rezultate tot mai frumoase, tot mai folositoare, care, întrebuițate în scopuri pașnice, vor pregăti o viață tot mai bună pentru toți oamenii.



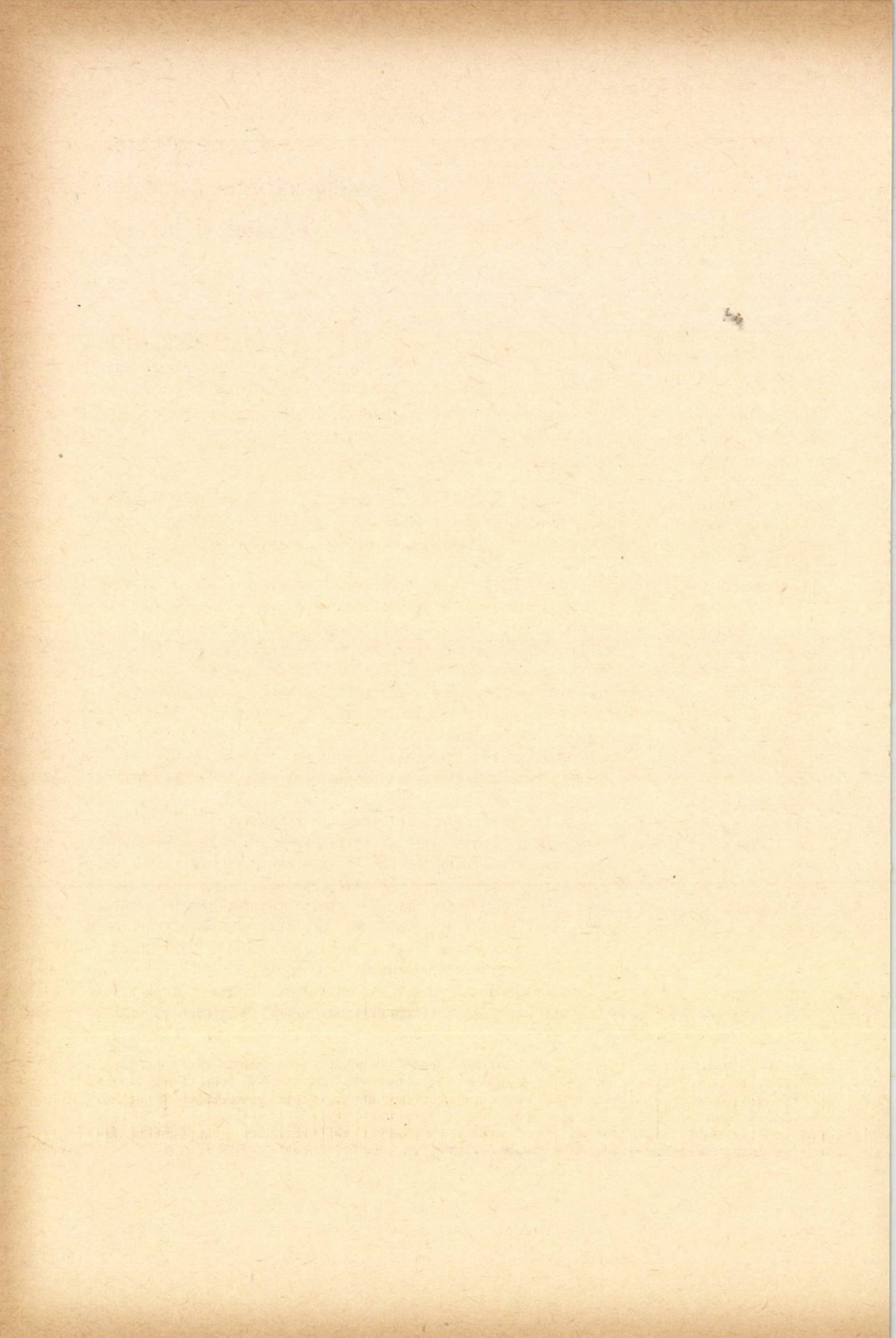
Generatoare  
și amplificatoare cuantice  
(Maseri și laseri)

---

I. CUCUREZEANU

Candidat în științe fizico-matematice







Generatoarele și amplificatoarele cuantice se situează printre realizările de seamă ale fizicii actuale.

Realizarea acestor dispozitive a fost posibilă o dată cu apariția unei noi discipline, electronica cuantică, bazată în primul rînd pe utilizarea spectrului undelor electromagnetice din afara domeniului undelor radio, iar în al doilea rînd pe adoptarea unor noi metode de lucru în locul celor clasice. Astfel, dacă pînă nu de mult se utiliza numai porțiunea spectrului electromagnetic, avînd lungimi de undă situate între 100 km și cîțiva decimetri (așa-numita gamă a undelor radio), ulterior au fost făcute încercări de a extinde acest domeniu spre gama microundelor, a undelor infraroșii, vizibile, ultraviolete și chiar X și  $\gamma$ <sup>1</sup>.

Aceste încercări au fost determinate de necesitatea măririi numărului de canale de transmisiune, de asigurarea unor legături mai stabile, de necesitatea creării unor locatoare cu mare putere de rezoluție, precum și de necesitatea creării unor surse de radiații cu calități deosebite: monocromatice, direcționale (foarte bine colimate) și extrem de intense. Noile cerințe sînt în mare parte legate de problemele de cercetare a cosmosului (legătura cu rachetele cosmice, urmărirea zborurilor, navigația cosmică), de rezolvarea unor probleme de cercetare de înaltă precizie etc.

Încercările respective au dus la realizarea unor dispozitive noi, generatoarele și amplificatoarele cuantice de radiații, care se pare că vor răspunde cerințelor enumerate.

Aceste progrese însă n-au putut fi obținute prin utilizarea metodelor de lucru clasice. Astfel, în timp ce generatoarele și amplificatoarele de frecvență ultraînaltă obișnuite (de tip clistron) funcționează în baza interacțiunii cîmpului electromagnetic cu electronii liberi, funcționarea generatoarelor și amplificatoarelor cuantice este strîns legată de metode fizice noi, bazate pe fenomenele cuantice de absorbție și emisie de radiații de către electronii legați în substanță. Prin urmare, în acest ultim caz, în locul electronilor liberi care se mișcă în vid se utilizează electronii legați în substanță.

Generatoarele și amplificatoarele cuantice poartă denumiri diferite, după domeniul spectral în care sînt utilizați. Astfel, denumirea *maser*<sup>2</sup> desemnează apa-

---

<sup>1</sup> Amintim că domeniul microundelor se întinde între cîțiva decimetri și 1 mm, domeniul infraroșu între 1 mm ( $10^7$  Å) și  $0,75 \mu$  (7 500 Å), cel vizibil între 7 500 Å și 4 000 Å, ultravioletul între 4 000 Å și aproximativ 80 Å, gama radiațiilor X între 80 Å și aproximativ 1 Å, iar spectrul radiațiilor  $\gamma$  sub 1 Å.

<sup>2</sup> Microwave amplification by stimulated emission of radiation „amplificare de microunde prin emisie stimulată de radiații“.



ratele de acest tip care lucrează în domeniul microundelor. Extinderea principiului de funcționare al acestor dispozitive și în domeniul optic (infraroșu, vizibil și ultraviolet) al spectrului electromagnetic a condus la apariția unei noi denumiri, *laser* (formată din inițialele aceluiași cuvinte englezești, cu deosebirea că cuvântul *microwave* „microundă” a fost înlocuit prin cuvântul *light* „lumină”; uneori, în locul denumirii *laser* se mai folosește denumirea de *maser optic*. Pe de altă parte, în literatura sovietică de specialitate a fost propusă denumirea „generatoare și amplificatoare moleculare” pentru aparatele care lucrează în domeniul microundelor și denumirea „generatoare și amplificatoare cuantice” pentru toate dispozitivele de acest fel, independent de domeniul spectral în care lucrează.

## PRINCIPIUL DE FUNCȚIONARE AL GENERATOARELOR ȘI AMPLIFICATOARELOR CUANTICE

După cum am arătat, metodele pe care se bazează funcționarea unor astfel de dispozitive sînt fundamentale deosebite de metodele clasice: în locul electronilor liberi care se mișcă în vid și a circuitelor oscilante, se utilizează particule legate în substanță. Principiul general de funcționare se bazează pe fenomenul de emisie stimulată (sau emisie indusă), ipoteza asupra existenței acestui fenomen fiind făcută de Einstein încă din 1917 pentru interpretarea teoriei radiației.

Emisia indusă este fenomenul invers procesului de absorbție a undelor electromagnetice de către substanță. Cînd un foton este absorbit de un sistem atomic (atom, ion, moleculă), energia fotonului se adaugă la energia internă a sistemului, energie care astfel crește, sistemul trecînd într-o stare energetică superioară. Se spune că sistemul atomic se excită. Astfel, dacă două din stările energetice posibile ale sistemului, cea fundamentală (1) și cea excitată (2), sînt caracterizate prin energiile  $E_1$  și  $E_2$ ,  $E_2$  fiind mai mare decît  $E_1$ , frecvența  $\nu$  a radiației absorbite de sistem va fi dată de relația

$$E_2 - E_1 = h\nu, \quad (1)$$

unde  $h$  este constanta lui Planck (egală cu  $6,6 \cdot 10^{-34}$  J·s), caracteristică tuturor fenomenelor cuantice.

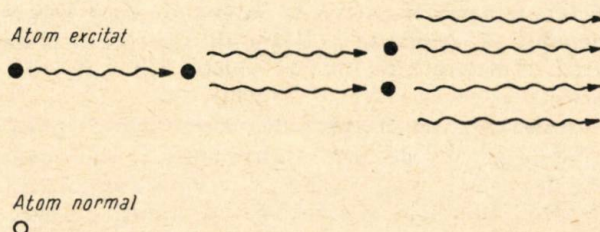
Odată excitat, sistemul atomic va rămîne în această stare (2) numai un interval de timp foarte scurt (de ordinul  $10^{-6}$  —  $10^{-8}$  s), după care va reveni în starea energetică inferioară (1), de la care a plecat, emițînd radiații cu aceeași frecvență  $\nu$ .

Această emisie se poate face pe două căi: fie prin așa-numita *emisie spontană*, cînd sistemul emite în mod natural, fără vreo influență exterioară, fie prin *emisie stimulată*, cînd revenirea sistemului în starea inferioară se face sub influența „ciocnirii” acestuia cu un foton de radiație avînd lungimea de undă



corespunzătoare radiației pe care o va emite sistemul. Ca rezultat, în loc de un singur foton (cel incident) vor exista acum doi fotoni; și dacă aceștia vor stimula, la rândul lor, alți doi atomi aflați în stare excitată, vor rezulta 4 fotoni și așa mai departe. Are loc un fel de „reacție în lanț” (fig. 1): un singur foton poate da naștere unei avalanșe de fotoni care formează radiația emisă

Fig. 1. „Reacție în lanț” prin emisie stimulată.



de generatorul sau amplificatorul cuantic. În acest mod, sistemele atomice acumulate pe un nivel energetic superior (nivel excitat) sînt obligate să emită mai devreme decît ar face-o în mod natural (sînt obligate să emită aproape simultan). De aceea radiația care ia naștere este deosebit de intensă.

Problema care se pune este de a reuși să se creeze o acumulare de sisteme atomice pe nivelul excitat, acumulare care în general nu se realizează în mod natural. Într-adevăr, dacă dispunem de un număr mare de sisteme atomice, aflate într-o incintă în echilibru termodinamic cu pereții acesteia la temperatura absolută  $T$ , atunci raportul dintre numerele  $N_2$  și  $N_1$  de sisteme atomice, aflate respectiv în stările (2) și (1) considerate, este dat de relația<sup>1</sup>

$$\frac{N_2}{N_1} = e^{-\frac{E_2 - E_1}{kT}}, \quad (2)$$

unde  $k$  este constanta lui Boltzmann ( $1,37 \cdot 10^{-23} \frac{J}{^\circ K \cdot mol}$ ). Potrivit acestei relații, nivelele cu energii mai înalte sînt mai puțin populate, adică inegalitatea  $E_2 > E_1$  implică inegalitatea  $N_2 < N_1$ . În aceste condiții va exista o acumulare de sisteme pe nivelul inferior, nu pe cel superior, și în consecință nu va avea loc fenomenul de amplificare a radiației, reprezentat în figura 1. Acest fenomen are loc numai cu condiția ca să existe o acumulare de sisteme atomice pe nivelul superior, adică să fie îndeplinită condiția  $N_2 > N_1$ , ceea ce constituie realizarea așa-numitei *inversiuni de populație* între cele două nivele energetice. În acest caz, sistemul va fi instabil; se va stabili totuși un „echilibru forțat”.

Din ecuația (2) deducem

$$T = -\frac{E_2 - E_1}{k \ln \frac{N_2}{N_1}}, \quad (3)$$

<sup>1</sup> Relația (2) se numește legea de distribuție a lui Boltzmann.



iar de aici se vede că  $T$  este pozitiv (cazul normal) atunci când  $N_2 < N_1$ , adică în cazul absenței inversiunii de populație. Când se realizează inversiunea de populație, se îndeplinește și condiția  $N_2 > N_1$ , producându-se fenomenul de amplificare descris. În acest caz însă,  $T$  este mai mic decât zero. Sintem astfel conduși la noțiunea de *temperatură negativă*.

Rezultă deci că un ansamblu de sisteme atomice căruia i se poate atribui o temperatură negativă în raport cu două dintre nivelele sale energetice este capabil să amplifice radiația care ar putea fi emisă sau absorbită prin tranziții efectuate între aceste nivele. Un astfel de ansamblu se numește *mediu activ*.

Există mai multe procedee de realizare a unui astfel de mediu activ, depinzând în special de natura sistemului atomic utilizat, adică de schema nivelelor de energie ale acestuia. Ele vor fi amintite în cele ce urmează, când vom descrie diferitele generatoare și amplificatoare cuantice realizate.

## MASERI. TIPURI DE MASERI

După cum am mai arătat, maserii au fost primele generatoare și amplificatoare cuantice realizate, iar dintre aceștia cel dintâi a fost maserul cu amoniac, realizat de americanii Gordon Zager și Townes în 1954.

Aparatul utilizează un fascicul de molecule de amoniac ( $\text{NH}_3$ ). Molecula de amoniac este o moleculă poliatomică neliniară. Forma ei (fig.2) se aseamănă cu o piramidă cu baza triunghiulară: în vîrfurile triunghiului de bază sînt situați atomii de hidrogen, iar în vîrfurile piramidei se află atomul de azot.

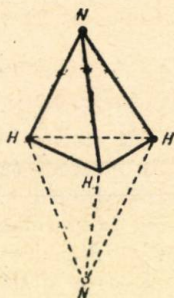


Fig. 2. Moleculă de amoniac.

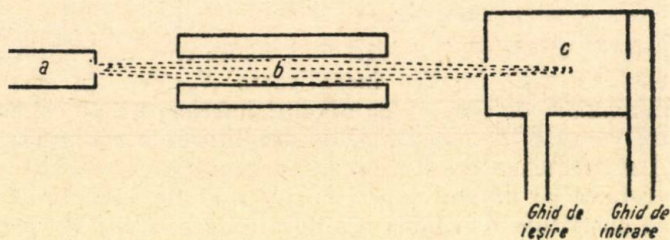


Fig. 3. Dispozitivul experimental al maserului cu amoniac.

În mișcările sale vibratorii, atomul de azot se poate găsi de ambele părți ale planului format de atomii de hidrogen. În fiecare din cele două situații, molecula de amoniac posedă energii diferite. Avem de-a face cu așa-numitul fenomen de dedublare prin inversiune a nivelelor de energie de vibrație. Radia-



ția emisă sau absorbită prin tranziții între astfel de nivele are lungimi de undă situate în domeniul microundelor (1,25 cm în cazul amoniacului).

În acest caz, procesul de inversiune se realizează prin sortarea moleculelor după cele două stări energetice cu ajutorul unui câmp electric neuniform.

Dispozitivul experimental al maserului cu amoniac este reprezentat în figura 3. Un fascicul molecular difuzează dintr-un rezervor *a*, trece printr-un câmp electric neuniform *b*, unde este sortat: aproape toate moleculele care au fost strinse în centrul acestui sistem se vor găsi în starea energetică excitată, realizându-se astfel inversiunea de populație necesară și deci starea de temperatură negativă a ansamblului de molecule.

Moleculele astfel sortate intră în cavitatea de rezonanță *c*, construită pentru frecvența radiației emise la tranziția considerată (egală cu 23 870 MHz, corespunzătoare lungimii de undă de 1,25 cm). Radiația termică, totdeauna prezentă în cavitate, și radiația provenită din emisia spontană a moleculelor pătrunse în cavitate se vor reflecta de pereții cavității și, interacționând cu moleculele din cavitate, vor provoca tranziții de emisie indusă; fotonii rezultați prin emisiunea indusă vor provoca noi tranziții și așa mai departe. În acest mod se produce o creștere exponențială a radiației în cavitate. Pentru întreținerea oscilației în cavitate e necesar să fie îndeplinită așa-numita condiție de autooscilație, care cere ca puterea radiației ce ia naștere prin procesele descrise să depășească diferitele pierderi de radiație în cavitate.

Puterea radiației obținute în acest mod depinde de numărul de molecule intrate în cavitate. Cum acest număr nu este prea mare (cam 6 % din numărul total de molecule ieșite din rezervor), puterea obținută va fi și ea mică. S-a obținut o putere de aproximativ  $10^{-10}$  W. Pe de altă parte, lărgimea de bandă a acestei radiații este extrem de mică: ea a fost obținută de ordinul  $10^{-2}$  Hz, care în adevăr este foarte mică față de lărgimea de  $10^3$  Hz a liniei spectrale a amoniacului. Această lărgime de bandă extraordinar de mică și stabilitatea mare în timp a frecvenței radiației fac ca maserul cu amoniac să poată fi utilizat cu mult succes ca standard de frecvență sau „ceas“.

Maserul cu amoniac poate fi utilizat și ca amplificator de microunde cu bandă îngustă dacă condiția de autooscilație nu este satisfăcută. În acest caz, tranzițiile induse sînt provocate sub acțiunea câmpului de înaltă frecvență care trebuie amplificat, avînd frecvența apropiată de frecvența tranziției moleculare utilizată pentru efectul maser.

Avantajul mare al acestui tip de amplificator constă în prezența unui zgomot extrem de mic față de zgomotul prezent în cazul amplificatoarelor electrice obișnuite. Aceasta deoarece în cazul de față moleculele nefiind încărcate electric, lipsește zgomotul „de alicie“, obișnuit. Pe de altă parte, zgomotul provocat de emisiunea spontană practic este neglijabil; singurul zgomot prezent în amplificatorul cuantic este zgomotul termic, care apare datorită temperaturii (diferită de zero) a pereților cavității. Acest zgomot poate, evident, să fie micșorat prin lucrul la temperaturi joase.

O tehnică analogă cu cea utilizată la realizarea maserului cu amoniac a fost folosită pentru realizarea maserului cu fascicul atomic de hidrogen. Și în acest



caz atomii de hidrogen posedă două stări energetice între care tranziția respectivă dă naștere unei radiații cu frecvența de 1 420 MHz ( $\lambda = 21$  cm).

Prin sortarea atomilor de hidrogen aflați în stare energetică superioară cu ajutorul unui selector de stări analog cu cel din cazul maserului cu amoniac,

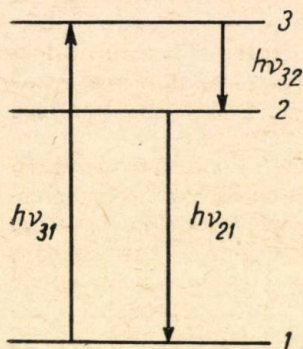


Fig. 4. Principiul maserului cu trei nivele.

se obține inversiunea necesară efectului de amplificare. Mai departe, procesul de emisiune indusă se produce ca și în cazul amoniacului.

Stabilitatea foarte mare ( $10^{-13}$ ) a frecvenței rezultate și lărgimea foarte mică (1 Hz) a liniei spectrale respective permit realizarea unui etalon de frecvență cu o precizie foarte mare (de ordinul  $10^{-12}$ ).

După cum am arătat, banda obținută în cazul maserilor descriși este foarte îngustă. Pentru a obține benzi mai largi, necesare scopurilor practice de amplificare, au fost realizați maseri cu medii active solide. În aceste cazuri, pentru realizarea inversiunii de populație se utilizează procedee mult mai complicate, pe care nu este locul să le descriem aici. Menționăm numai că și acești maseri utilizează de asemenea numai două nivele de energie și că lucrează numai în impulsuri. Lărgimea de bandă obținută în aceste cazuri poate ajunge până la 100 MHz.

O realizare importantă, care a constituit un mare progres, a fost maserul cu trei nivele. Ideea utilizării a trei nivele a fost emisă pentru prima dată încă din anul 1956. Cele trei nivele, neegal distanțate, sînt reprezentate în figura 4. Pentru obținerea efectului de amplificare este necesară realizarea inversiunii „de populație” între două dintre cele trei nivele.

Dacă notăm energiile celor trei nivele respectiv prin  $E_1$ ,  $E_2$  și  $E_3$  (avînd  $E_1 < E_2 < E_3$ ) și numerele de atomi pe cele trei nivele respectiv prin  $N_1$ ,  $N_2$  și  $N_3$ , la echilibrul termic, conform legii de distribuție a lui Boltzmann, exprimată prin relația (2), este satisfăcută următoarea inegalitate:

$$N_1 > N_2 > N_3. \quad (4)$$

Să presupunem că un cîmp de radiofrecvență (microunde) avînd frecvența  $\nu_{31}$  va induce tranziții între nivelele (1) și (3). Deoarece inițial există mai mulți atomi în starea (1) decît în starea (3), particulele vor părăsi starea (1)



în număr mai mare decât acestea se întorc de la starea (3). Ca urmare, va rezulta fenomenul de saturație când  $N_3$  devine egal cu  $N_1$ . În acest caz se poate realiza fie condiția  $N_2 > N_1$ , fie condiția  $N_3 > N_2$ . În primul caz este realizată inversiunea de populație între nivelele (1) și (2) și deci maserul lucrează pe frecvența  $\nu_{21}$ , iar în al doilea caz inversiunea este realizată între nivelele (2) și (3), când maserul lucrează pe frecvența  $\nu_{32}$ .

Atomii care prezintă o schemă cu astfel de nivele energetice sînt ionii paramagnetici, de exemplu ionii  $\text{Cr}^{+++}$ ,  $\text{Fe}^{+++}$ ,  $\text{Gd}^{+++}$ ,  $\text{Ni}^{+++}$  etc. Pentru realizarea unui maser, materialul activ poate interacționa cu radiația excitatoare fie într-o cavitate de rezonanță, când avem de-a face cu aceea ce se numește *maser cu rezonator*, fie într-un sistem cu ghid de unde, când rezultă așa-numitul *maser cu undă călătoare*. Maserii cu rezonator pot furniza semnale cu lățimi de bandă de numai cîțiva MHz, pe cînd maserii cu undă călătoare dau cîteva zeci sau sute de MHz, ceea ce, din punctul de vedere al utilizării practice, ultimii sînt mult mai avantajoși.

## APLICAȚII ALE MASERILOR

Finețea și stabilitatea frecvenței radiației emise de maseri, în special de maserii cu fascicul molecular sau atomic, au condus la utilizarea acestor dispozitive ca etaloane de frecvență (sau de timp).

În baza proprietăților amintite, au fost proiectate și efectuate unele experiențe interesante de verificare a teoriei relativității. Astfel, pentru verificarea teoriei relativității restrînse, a fost imaginată următoarea experiență, care, de fapt, este o repetare a experienței lui Michelson-Morley, însă cu o precizie mult mai mare: pe un suport mobil au fost montați doi maseri cu amoniac,

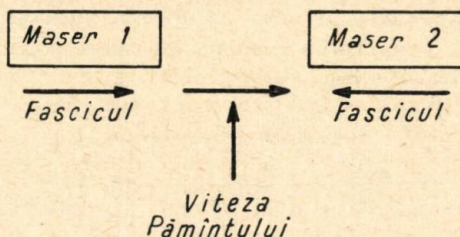


Fig. 5. Schema principală pentru repetarea experienței lui Michelson-Morley, cu ajutorul maserilor.

avînd rezonatorii dispuși orizontal. Fasciculele moleculare treceau prin rezonatoare în sensuri opuse, mișcîndu-se unul către altul, așa cum este arătat în figura 5.

Dacă ipoteza existenței unui sistem de referință absolut (eterul) este adevărată, atunci acesta trebuie să aibă influență asupra frecvenței maserului



atunci cînd ultimul este rotit cu  $180^\circ$  față de poziția sa inițială. Măsurările efectuate au infirmat ipoteza eterului.

Au fost propuse de asemenea experiențe de verificare a teoriei relativității generalizate, de exemplu deplasarea relativistă spre roșu a frecvenței liniilor spectrale. Să presupunem că, într-un timp de funcționare îndelungată, doi maseri cu amoniac își mențin frecvențele egale cu o precizie foarte mare ( $10^{-11}$ ). Dacă unul dintre maseri este instalat pe un satelit artificial al Pămîntului, iar celălalt rămîne pe Pămînt, atunci frecvența primului, măsurată pe satelit, trebuie să fie egală cu frecvența celui de-al doilea măsurată pe Pămînt. Pentru verificarea deplasării relativiste spre roșu însă, vor trebui măsurate ambele frecvențe pe Pămînt. Astfel de experiențe au fost propuse de Badessa.

Pe lângă experiențele de verificare a teoriei relativității, generatoarele și amplificatoarele cuantice din domeniul microundelor pot fi aplicate și în alte domenii de activitate, de exemplu în radiospectroscopie pentru studiul structurii liniilor spectrale și, în ultimă instanță, a structurii materiei, în radio-locția de mare precizie, în radioastronomie și în comunicații.

## LASERI. PRINCIPIUL DE FUNCȚIONARE

Lungimea de undă la care lucrează aceste dispozitive este mult inferioară (deci frecvență mult superioară) lungimii de undă (respectiv frecvenței) de lucru a aparatelor descrise anterior. Cea mai scurtă lungime de undă pînă la care s-a putut merge în construirea generatoarelor și amplificatoarelor cu microunde este în jur de 1 mm. Dacă privim radiația din punct de vedere ondulatoriu, această limită se explică prin limita de construcție a cavităților de rezonanță necesare: în domeniul microundelor, aceste cavități, care conțin moleculele sau atomii ce produc efectul maser, sînt construite cu dimensiuni egale cu lungimea de undă a radiației de lucru. Însă, construirea cavităților de rezonanță cu dimensiuni mai mici decît un milimetru devine foarte dificilă și chiar imposibilă.

Pentru a extinde domeniul spectral de lucru al unui maser spre frecvențe mai mari, de exemplu în domeniul optic, în care lungimile de undă sînt de mii de ori mai mici decît în domeniul microundelor, a fost necesară o cale de acces radical deosebită, întrucît nu mai puteau fi construite cavități de rezonanță cu astfel de dimensiuni. O atare cale de acces a fost propusă încă din anul 1958, prin înlocuirea cavității de rezonanță utilizată în domeniul microundelor, avînd dimensiunile comparabile cu lungimea de undă utilizată, printr-o încăpere lungă prevăzută la capete cu două oglinzi puternic reflectatoare.

Să presupunem că în această cavitate introducem o substanță oarecare sub forma uneia din cele trei stări de agregare — solidă, lichidă sau gazoasă — și că substanța respectivă este excitată cu ajutorul unei radiații convenabile,



de exemplu cu lumină verde (fig. 6). Primii fotoni emiși spontan de unele dintre sistemele atomice excitate se vor propaga prin cavitate în diferite direcții. Fotonii având direcții de propagare înclinate față de axa cavității de rezonanță se vor reflecta de puține ori pe suprafețele de capăt ale acestei cavități și vor ieși prin pereții laterali, fiind astfel pierduți pentru efectul de amplificare

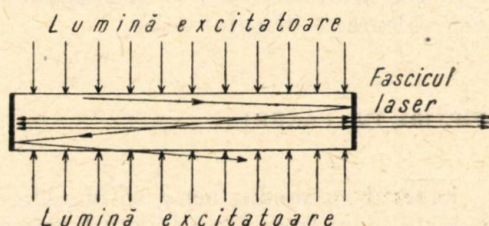


Fig. 6. Principiul laserului.

(efectul laser) scontat; fotonii care se vor propaga în lungul axei cavității se vor reflecta pe suprafețele de capăt de foarte multe ori (de câteva mii de ori). În acest mod vor avea o mare probabilitate de a stimula un număr cât mai mare de sisteme atomice excitate. Fotonii proveniți din procesul de emisie stimulată se vor propaga, la rândul lor, în lungul aceleiași axe, stimulând alte sisteme atomice și așa mai departe. Ia naștere astfel în cavitate o undă foarte puternică. O fracțiune din această undă va ieși printr-una din suprafețele reflectatoare, constituind radiația laser.

E necesar să precizăm că, pentru realizarea acestui proces, în afară de fenomenul de reflexie multiplă pe cele două suprafețe reflectatoare de la capetele cavității este absolut necesară îndeplinirea următoarei condiții: viața medie a sistemelor atomice în starea excitată trebuie să fie suficient de lungă pentru ca să se poată acumula pe acest nivel un număr destul de mare de sisteme (să fie realizată inversiunea de populație). Astfel de nivele cu viață medie lungă se numesc *nivele metastabile*<sup>1</sup>.

Calitățile luminii obținute prin funcționarea unui laser diferă mult de cele ale luminii provenite de la sursele obișnuite (lămpi cu incandescență, tuburi Geissler etc.). Astfel, propagarea undelor amplificate aproape exclusiv de-a lungul axei dispozitivului conduce la obținerea unui fascicul de lumină extrem de direcțional (dirijat), adică un fascicul care se propagă practic fără împrăștiere. De exemplu, dacă un astfel de fascicul ar fi îndreptat de pe Pământ pe suprafața Lunii, ar lumina un cerc cu un diametru de aproximativ 3 km, în timp ce în cazul unui reflector de tip obișnuit diametrul petei luminate pe Lună ar fi de 27 000 km.

O altă calitate a luminii emise de laser este monocromaticitatea sa extrem de pronunțată. Datorită faptului că emisiunea stimulată este un proces de rezonanță, amplificarea se face în special asupra centrului unei linii spectrale care ar fi emisă în mod obișnuit (spontan). Se obțin astfel linii spectrale de

<sup>1</sup> De exemplu, viața medie a atomilor în stări excitate, în general, este de ordinul  $10^{-6}$ — $10^{-8}$  s. În cazul nivelelor metastabile, aceasta este de ordinul a  $10^{-3}$  s până la câteva secunde.



milioane de ori mai înguste (fine) decât cele furnizate de sursele de lumină obișnuite. În sfârșit, acțiunea fenomenului de emisiune stimulată de a forța sistemele atomice excitate să emită mai devreme decât ar emite în mod spontan provoacă emisiunea aproape simultană a unui mare număr de fotoni. Aceasta duce la obținerea unui fascicul de lumină extraordinar de intens, de aproape 5 miliarde de ori mai intens decât radiația emisă de pe o suprafață echivalentă a discului solar.

## TIPURI DE LASERI

**Laserul cu mediu activ solid.** Alegerea substanței care constituie mediul activ al unui laser depinde, după cum am arătat, de schema nivelelor de energie ale substanței respective, și în special de viața medie a nivelelor considerate. Prima realizare de succes a fost cea a lui Maiman în august 1960. Acesta a utilizat drept mediu activ cristalul de rubin, obținut pe cale sintetică din corindon ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), impurificat în mod controlat cu ioni de crom trivalent, substituiți în rețea în proporție de aproximativ 0,05%. Se obține în acest mod așa-numitul rubin roz. Din acest monocristal a fost construit mediul activ sub forma unei vergele cu lungimea de 4 cm și diametrul de 0,5 cm, axa optică a cristalului fiind perpendiculară pe cele două suprafețe de bază ale cilindrului. Prin șlefuirea acestor suprafețe cu o abatere de la planeitate de ordinul  $\lambda/50$  și cu o abatere de la paralelism de ordinul  $1^\circ$  de arc și prin argintarea lor până la un coeficient de transmisie de aproximativ 4% (una din suprafețe poate fi acoperită până la opacitate), a rezultat cavitatea de rezonanță necesară acțiunii laserului.

Această cavitate este așezată în lungul axei unei spirale formată de un *flashtube* (tub cu descărcare în xenon sau amestec de neon și cripton), totul

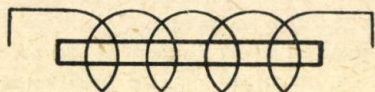


Fig. 7. Cavitate așezată în lungul axei unei spirale.

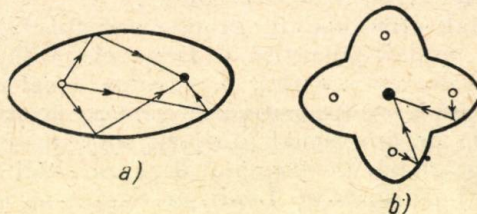


Fig. 8. Dispunerea barei de rubin și a lămpii excitatoare.

fiind înconjurat de un cilindru acoperit cu un strat reflectător de oxid de magneziu, pentru a concentra mai bine lumina emisă de lampă asupra barei de rubin (fig.7). În același scop se poate așeza bara de rubin de-a lungul axei focale a unei carcase eliptice, în cealaltă axă focală așezându-se lampa excitatoare, construită sub formă cilindrică (fig. 8 a), sau în axa focală comună a unei car-



case multiplu eliptice, în celelalte axe focale situându-se câte o lampă excitatoare cilindrică (fig. 8 b).

Mecanismul prin care se produce emisia stimulată (efectul laser) poate fi explicat considerînd schema de nivele a cromului trivalent, reprezentată în figura 9. Radiația cu lungimea de undă de 5 600 Å (lumină verde) transportă

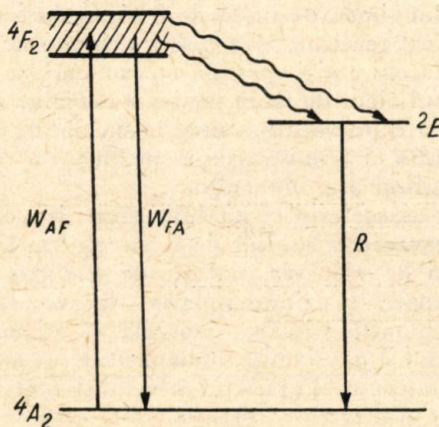


Fig. 9. Schema de nivele a cromului trivalent și principiul producerii efectului laser.

ionii de crom de la starea fundamentală  $4A_2$  la diferitele nivele de energie situate în banda  $4F_2$  prin tranziția indicată cu  $W_{AF}$ . De aici, după un timp foarte scurt, o parte din ioni vor reveni la starea fundamentală prin tranziția  $W_{FA}$ , cu emisie de lumină cu aceeași lungime de undă ca și cea a luminii excitatoare, iar o altă parte vor trece pe nivelul  $2E$ , prin tranziții neradiative (săgețile ondulate în figură). Aceste ultime tranziții se produc datorită interacțiunii ionilor de crom cu rețeaua cristalină. Nivelul  $2E$  fiind un nivel metastabil (cu o viață medie de ordinul milisecundelor), se vor acumula pe acesta un număr mare de ioni de crom, realizîndu-se inversiunea de populație între acest nivel și starea fundamentală. Se spune că atomii de crom sînt „pompați” pe nivelul  $2E$  cu ajutorul radiației verzi excitatoare.

La revenirea ionilor de pe nivelul  $2E$  în starea fundamentală, este emisă radiația  $R$ , avînd lungimea de undă de 6 943 Å (lumină roșie). Această revenire se face mai întîi spontan și apoi stimulat, după procedeul descris (fig. 6). Se produce autooscilația laserului, adică oscilația în cavitate se autoîntreține. Pentru aceasta este necesară îndeplinirea aceleiași condiții de autooscilație întîlnită în cazul maserilor, condiție care cere o limită inferioară a energiei aplicate pentru realizarea pompaajului. Această limită se numește *putere de prag* a laserului. În cazul de față, energia de prag a fost de aproximativ 2 300 J pentru dispozitivul de excitare reprezentat în figura 7 și mult mai mică (de ordinul a 100 J) pentru dispozitivele reprezentate în figura 8.

Lumina roșie constituie deci lumina laser emisă de laserul cu rubin. Aceasta va fi de aproape 1 000 de ori mai intensă decît în cazul că ea ar fi emisă în mod



obișnuit (spontan). Lărgimea liniei roșii emise de laserul cu rubin este redusă de la valoarea de  $2 \text{ \AA}$  la valoarea  $0,07 \text{ \AA}$ , iar unghiul de divergență este situat între  $0,1^\circ$  și  $1^\circ$ , ceea ce denotă o monocromaticitate și direcționalitate foarte pronunțate<sup>1</sup>. Se realizează astfel un generator cuantic de lumină — o sursă de lumină roșie foarte dirijată, monocromatică și deosebit de intensă<sup>2</sup>.

Același dispozitiv poate funcționa și ca amplificator pentru radiația cu lungimea de undă de  $6943 \text{ \AA}$  dacă mediul activ (inversiunea de populație) a fost realizat, fără însă a atinge condiția de autooscilație. În acest caz, primii fotoni emiși spontan nu vor mai găsi în starea excitată ( ${}^2E$ ) un număr de ioni suficient de mare pentru a declanșa autooscilația sistemului; emisiunea indusă va fi provocată atunci în special de fotonii radiației roșii, care trebuie amplificată și trimisă asupra mediului activ printr-una din suprafețele de capăt ale cilindrului de rubin.

Caracterul semnalului emis de laserul cu rubin depinde atât de procesele de revenire a ionilor de pe nivelul metastabil  ${}^2E$  în starea fundamentală  ${}^4A_2$ , cât și de valoarea puterii de pompaj utilizate. Astfel, emisiunea spontană care apare în primul moment de aprindere a lămpii de pompaj crește pînă la o anumită valoare, capabilă să stimuleze trecerea ionilor de pe nivelul metastabil pe nivelul fundamental; ca urmare ia naștere un semnal luminos foarte puternic. Populația nivelului metastabil scade atât de mult, încît nivelul respectiv este aproape golit, ceea ce face ca semnalul luminos să scadă brusc. Va fi necesar un scurt interval de timp pentru ca, prin pompaj, nivelul metastabil să fie din nou populat, cînd fenomenul de emisie stimulată se va repeta. Procesul se petrece în acest mod datorită incapacității „pompei” de a aproviziona nivelul metastabil suficient de rapid pentru a fi în pas cu rapiditatea procesului de emisie stimulată. Ca rezultat se obține un semnal sub formă de impulsuri (*spikes*) cu durată de 1 ms fiecare, emise la un interval de 5—10 ms unul de altul. Pentru acest interval de timp, puterea laserului este de ordinul 1 kW, în timp ce puterea medie a semnalului emis este de ordinul a numai cîtorva wați<sup>3</sup>. Distanța dintre aceste impulsuri scade cu cît crește energia de pompaj (intensitatea luminii excitatoare). În ultimul timp au fost obținute așa-numitele „impulsuri gigantice”, avînd o durată de numai 30 ms, rezultînd o putere maximă de aproximativ 15 MW pe impuls.

În ultimul timp a fost anunțată și realizarea laserilor cu rubin cu funcționare continuă. Succesul a fost posibil datorită utilizării unor sisteme de excitare cu totul noi, sisteme care permit ridicarea puterii de pompaj de cinci ori față de cea utilizată pînă acum.

Nivelele ionilor de crom între care se produce acțiunea laser ( ${}^4A_2$  și  ${}^2E$ ) fac parte dintr-o schemă tipică cu trei nivele, analogă celei reprezentate în figura 4. Deoarece în acest caz nivelul inferior al tranziției laser este chiar starea funda-

<sup>1</sup> Laserul cu rubin, fără ajutorul lentilelor, a trimis un fascicul de radiații care la distanța de 40 km a dat un cerc cu diametrul de 60 m văzut clar cu ochiul liber.

<sup>2</sup> Un calcul simplu arată că strălucirea acestei radiații depășește de 5 miliarde de ori strălucirea dată de o arie echivalentă a suprafeței solare.

<sup>3</sup> Comparăția de străluciri făcută mai înainte între lumina emisă de laser și cea emisă de Soare se referă la puterea de impuls a laserului și nu la puterea medie.



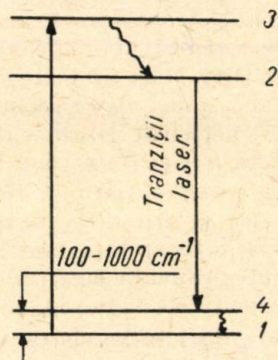
mentală, este necesară o putere de pompaj suficient de mare pentru a realiza mediul activ și pentru a satisface condiția de autooscilație: cel puțin jumătate din numărul total de ioni trebuie menținuți în starea metastabilă pentru a se realiza inversiunea de populație între nivelul metastabil și starea fundamentală.

O cale pentru învingerea acestei dificultăți este utilizarea unor medii materiale la care nivelul final al tranziției de laser să nu fie starea fundamentală, ci o stare intermediară. Aceasta trebuie să fie suficient de depărtată de starea fundamentală pentru ca numărul de ioni de pe ea să fie destul de mic (conform legii de distribuție a lui Boltzmann) și destul de apropiată de această stare încât să poată fi golită rapid prin tranziții neradiative în starea fundamentală, tranziții efectuate prin interacțiune cu rețeaua cristalină. Pentru îndeplinirea acestor condiții este necesar un interval de  $100-1\,000\text{ cm}^{-1}$  între acest nivel și starea fundamentală. Schema cu patru nivele, reprezentată în figura 10, corespunde întocmai acestor cerințe.

În aceste condiții, numărul de ioni din starea finală a tranziției laser fiind foarte mic în comparație cu numărul total de ioni, inversiunea de populație se va putea produce mult mai repede decât în cazul rubinului; va fi necesară în acest caz o putere de pompaj mult mai mică (de aproximativ 1 000 de ori) decât în cazul rubinului. Mai mult, dacă vom goli în mod artificial (de exemplu prin răcire) starea intermediară, puterea de pompaj va putea fi încă micșorată.

Au fost realizați mulți laser de acest tip. Astfel, a fost realizat laserul având ca mediu activ florură de calciu, în care au fost înglobați ioni de uraniu trivalent ( $\text{CaF}_2 : \text{U}^{+++}$ ), care emite o radiație cu  $\lambda = 2,49\text{ }\mu$  (radiație situată în infraroșu); de asemenea a fost realizat laserul cu  $\text{CaF}_2 : \text{Sm}^{++}$ , care emite o

Fig. 10. Tranzițiile care conduc la efectul laser în cazul unei scheme cu patru nivele.



radiație roșie cu  $\lambda = 7\,082\text{ Å}$ . Au fost realizați de asemenea laseri cu  $\text{BaFe}_2 : \text{U}^{+++}$  cu  $\text{SrFe}_2 : \text{Sm}^{++}$ , cu  $\text{CaWO}_4 : \text{Nd}^{+++}$ , cu  $\text{CaFe}_2 : \text{Dy}^{++}$  etc., emițind radiații situate în general în infraroșu.

De asemenea au fost făcute numeroase încercări de realizare a unor laseri care să emită în alte regiuni ale spectrului electromagnetic, utilizând substanțe



și principii noi. Astfel, referindu-ne numai la substanțele solide, un interes foarte mare îl prezintă posibilitatea utilizării materialelor luminescente de tipul sticlei, deoarece acestea pot fi prelucrate cu ușurință în orice formă geometrică dorim. De pe acum se cunosc realizări în această direcție: laserul cu neodim trivalent înglobat în sticlă de bariucrom (59%  $\text{SiO}_2$ , 25%  $\text{BaO}$ , 15%  $\text{K}_2\text{O}$  și 1%  $\text{Sb}_2\text{O}_3$ ), laserul cu holmiu trivalent în sticlă ( $\text{LiMgAlSiO}_3$ ) etc. În ultimul timp au fost făcute încercări de construire a laserilor cu medii active moleculare solide și chiar lichide, ultimele prezentînd marile avantaje de a putea fi preparate ușor, de a se putea răci ușor prin circulație și de a permite confecționarea cu ușurință a cavităților de rezonanță.

În sfîrșit, o dezvoltare foarte mare au început să ia în ultimul timp laserii construiți cu ajutorul materialelor semiconductoare. Efectul laser se bazează pe proprietățile specifice ale acestor materiale. În general, cristalele sînt caracterizate prin benzi de energie analoge nivelelor energetice ale sistemelor atomice. Se cunosc două tipuri de benzi: benzi de valență și benzi de conducție. Depărtarea dintre aceste benzi diferă de la izolatoare la conductoare. Într-un izolat, banda de conducție, fiind situată la un nivel ridicat față de banda de valență, este goală: electronii, aflați toți în banda de valență, nu pot trece decît foarte greu în banda de conducție. În conductoare, dimpotrivă, această depărtare, fiind foarte redusă, face ca un număr mare de electroni să se găsească în banda de conducție. Semiconductoarele se află în situația intermediară. În acest caz, un număr mic de electroni se află în banda de conducție, banda de valență fiind depopulată de un număr echivalent de sarcini negative: se zice că această bandă conține goluri de sarcină egală cu sarcina electronului, dar de semn contrar.

Înglobînd în astfel de semiconductoare anumite impurități după cum numărul electronilor de valență ai impurității depășește sau nu numărul de electroni de valență ai semiconductorului-gazdă, avem de-a face cu semiconductoare de tip  $n$  și de tip  $p$ . În cazul laserilor sînt utilizate joncțiuni formate din aceste două tipuri de semiconductoare. Specialistul american Nathan și alții au realizat astfel de laseri utilizînd arseniură de galiu ( $\text{GaAs}$ ) de tip  $n$  și de tip  $p$ . Prin mijlocul unei joncțiuni  $p-n$  avînd dimensiunile de  $1,4 \times 0,6$  mm se trece un curent electric intens (putînd să atingă intensitatea de 190 A). Dacă densitatea de curent depășește  $1\,000 \text{ A/cm}^2$ , ia naștere, prin emisie stimulată, o radiație cu lungimea de undă de  $8\,420 \text{ \AA}$ . Fenomenul are loc în modul următor. Sub influența curentului aplicat, un număr mare de electroni vor fi duși în banda de conducție, ceea ce revine la a spune că se injectează același număr de goluri în banda de valență. De aici laserul a primit denumirea de *laser cu injecție*. Aceasta nu este altceva decît o inversiune de populație între electroni și goluri. Emisia de energie se face prin recombinarea unui electron cu un gol.

În acest tip de laser, pompajul este deci foarte comod; este suficient să facem să treacă prin joncțiune un curent suficient de intens. Pe de altă parte, procesul este extraordinar de eficient. La temperatura heliului lichid, randamentul este apropiat de 50%, ceea ce depășește mult randamentul laserilor discutați mai înainte, randament care atinge numai cîteva procente.

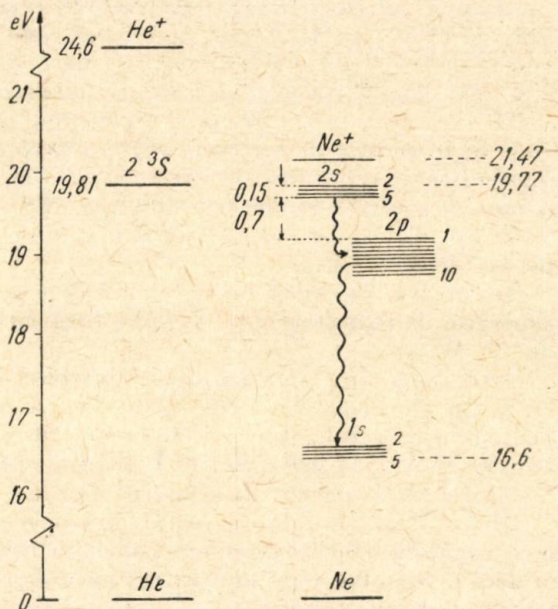


*Laserul cu semiconductoare este primul dispozitiv care convertește direct energia electrică în energie luminoasă.*

**Laserul cu mediu activ gazos.** Spre deosebire de laserul cu mediu activ solid, unde inversiunea de populație (pompaajul) era creată prin excitare optică, în cazul de față, din cauza densității prea mici a mediului, excitarea optică se dovedește foarte puțin eficientă. Inversiunea de populație reușește în acest caz mult mai bine cu ajutorul excitării prin ciocniri electronice, de exemplu prin descărcări electrice în gaz. A fost utilizat și în acest caz pompaajul optic, însă cu mai puțină eficacitate.

Primul laser cu mediu activ gazos a fost realizat în 1961, utilizând amestecul de gaz heliu-neon. Realizarea temperaturilor negative se poate explica utilizând schema nivelelor de energie ale celor două gaze, reprezentată în figura 11. După cum se vede din această schemă, unul dintre nivelele excitate ale heliului, nivelul  $2^3S$ , este foarte apropiat de nivelul excitat  $2s$  al neonului. Această apropiere constituie faptul esențial în crearea inversiunii de populație, și anume excitarea atomilor de heliu până la nivelul  $2^3S$  se face cu ajutorul unei

Fig. 11. Schema nivelelor de energie ale He și Ne, utilizați la construirea primului laser cu mediu activ gazos.



descărcări electrice prin amestecul de gaze considerat. Prin ciocniri de speța a doua între acești atomi de heliu excitați și atomii de neon aflați în starea fundamentală va avea loc un transfer de energie neradiativ — transfer de excitație —, din care rezultă excitarea atomilor de neon pe nivelul  $2s$  și revenirea atomilor de heliu în starea fundamentală. Deoarece viața medie a nivelului



2s al neonului este aproape de 1 000 de ori mai mare decât viața medie a nivelului 2p al aceluiași gaz, atomii de neon se vor acumula pe nivelul 2s, realizându-se astfel inversiunea de populație între nivelele 2s și 2p. Deoarece nivelul 2s conține patru subnivele, iar 2p cuprinde zece subnivele, fenomenul laser va putea avea loc pentru toate cele 30 de tranziții posibile  $2s_i \longrightarrow 2p_j$  între aceste subnivele.

Dacă în amestec se utilizează un gaz străin, de exemplu argonul, care are o energie de ionizare mai mică decât energia nivelului 1s al neonului, este posibilă favorizarea inversiunii de populație între nivelele de laser 2s și 2p. Fenomenul se explică în modul următor: prin ciocnirea atomilor de argon cu atomii de neon aflați în starea 1s se micșorează numărul de atomi din această stare, datorită pierderii de energie a acestora prin ciocniri. Având atomi mai puțini pe nivelul 1s, nivelul 2p va fi mai slab populat prin ciocnirea atomilor din starea 1s cu electronii din descărcare, iar radiația emisă prin tranzițiile  $2p \longrightarrow 1s$  va transfera un număr mai mic de atomi din starea 1s în starea 2p. Aceste procese fac ca nivelul 2p să fie mai slab populat în prezența argonului decât în absența acestuia, ceea ce favorizează inversiunea de populație între nivelele 2s și 2p.

Dispozitivul experimental realizat de Javan consta dintr-un tub din cuarț lung de 80 cm, cu diametrul de 1,5 cm, umplut cu un amestec de neon la presiunea de 0,1 mm Hg și heliu la presiunea de 1mm Hg. La capetele tubului se află două lame din cuarț, șlefuite cu o abatere de la planeitate de aproximativ  $\lambda/100$  și distanțate la 100 cm. Paralelismul acestor lame era realizat cu o precizie de o secundă de arc, prin reglare mecanică din exterior prin intermediul unor silfoane, iar înălță lor reflectivitate (98,9%, cu o transmisie de 0,3% în domeniul spectral 11 000–12 000 Å) a fost realizată prin depunerea în vid a 13 strate dielectrice (alternativ din sulfură de zinc și criolit) pe suprafețele plane ale acestora.

Descărcarea electrică în amestecul de gaz a fost obținută cu ajutorul unui generator de radiofrecvență, având o frecvență de 28 MHz și furnizând o putere de 50 W.

Deși, după cum am mai spus, sînt posibile 30 de tranziții între stările 2s și 2p ale neonului, experimental acțiunea laser a fost obținută numai pentru următoarele lungimi de undă din infraroșul apropiat:  $\lambda = 11\,180$ ;  $11\,530$ ;  $11\,600$ ;  $11\,990$  și  $12\,070$  Å, cea mai puternică fiind linia cu  $\lambda = 11\,530$  Å.

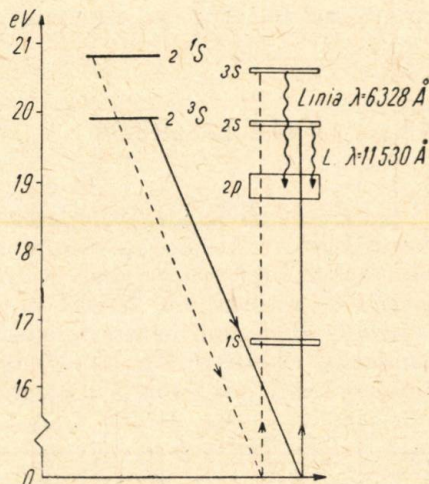
Caracteristica principală a laserului cu gaz este capacitatea sa de a funcționa continuu, deoarece descărcarea electrică, deși la o putere foarte joasă (50W), este capabilă să aprovizioneze continuu nivelele excitate cu atomi de neon și deci să mențină continuu inversiunea de populație creată. În această funcționare continuă, laserul cu heliu-neon a furnizat, pentru linia cea mai intensă ( $\lambda = 11\,530$  Å) o putere de aproximativ 15 mW mai mare decât puterea medie a semnalului emis de laserul cu rubin. Mai mult, lărgimea liniei spectrale a acestui laser este de 1 000 ori mai mică decât lărgimea liniei roșii emise de laserul cu rubin, iar divergența fascicului nu depășea 32 secunde de arc (un laser cu heliu-neon lucrînd pe Pămînt cu un telescop convenabil ar putea trimite un fascicul pe Lună care ar forma o pată cu un diametru sub 1,5 km).



Toate aceste calități constituie avantaje ale laserului cu heliu-neon față de laserul cu rubin.

Ulterior au fost făcute noi progrese în construirea laserilor cu gaz. Astfel au fost construite cavități de rezonanță de tip special, prin așezarea oglinzilor reflectătoare în afara tubului de descărcare, acestea având suprafețe plane sau

Fig. 12. Efectul laser asupra radiației  $\lambda = 6328 \text{ \AA}$  a neonului, situată în domeniul vizibil.



sferice (cavitate confocală); au fost construite cavități de rezonanță cu lungimi de la 200 cm la 800 cm și cu oglinzi confocale etc. Toate acestea au dus la obținerea de noi linii laser, la posibilitatea studierii radiațiilor prin așezarea între suprafețele reflectătoare și cavitate a diferitelor piese optice (prisme, lentile, interferometre) etc.

Mai târziu a fost obținut efectul laser asupra unei alte radiații a neonului, situată în domeniul vizibil și având lungimea de undă de  $6328 \text{ \AA}$ . Ea este emisă în urma tranziției între nivelele 3s și 2p (fig. 12), nivelul 3s fiind populat prin ciocniri de speța a doua între atomii de heliu excitați pe nivelul  $2^1S$  și atomii de neon din starea fundamentală (săgețile punctate).

De asemenea au fost propuse și alte combinații de gaze, de exemplu amestecurile de Hg și Zn, Cd și Zn, Hg și Kr etc., precum și construirea unor laseri cu gazerare separate. Astfel de laseri au fost realizați. S-au construit laseri cu fiecare din cele cinci gaze nobile cunoscute: heliu, neon, argon, cripton și xenon, care lucrează continuu, emițând linii spectrale, ale căror lungimi de undă sînt situate în infraroșu. În aceste cazuri, inversiunile de populație se realizează numai cu ajutorul ciocnirilor dintre atomii de gaz și electronii din descărcarea electrică în gaz și se mențin datorită diferențelor apreciabile dintre valorile vieții medii corespunzătoare nivelelor energetice între care se produc tranzițiile laser.



Un laser cu gaz realizat prin utilizarea pompajului optic a fost laserul cu cesiu. El emite radiațiile cu lungimile de undă de  $7,18\mu$  și respectiv  $3,2\mu$ . Pompajul optic, care este mult mai puțin eficace pentru realizarea inversiunii de populație decât descărcarea în gaz, provoacă o emisie laser cu o putere foarte mică ( $25\mu$  W). Acest laser prezintă deci numai un interes principal. Atît laserii solizi, cît și cei cu gaz au fost utilizați și ca amplificatoare de radiații, lucrînd pe aceleași frecvențe pe care aceștia le-ar emite ca generatoare.

## APLICAȚII ALE LASERILOR

Am arătat că dispozitivele laser pot funcționa atît ca generatoare, cît și ca amplificatoare. De aceea, vorbind despre aplicațiile practice ale laserilor, va fi necesar să ne referim, pe rînd, la fiecare din aceste cazuri. Dacă avem în vedere laserii de ultimul tip (laserii amplificatori), putem arăta că aceștia pot fi utilizați, după cum indică însăși denumirea, pentru amplificarea fasciculelor luminoase slăbite în diferite condiții, de exemplu la amplificarea unui semnal luminos care a fost slăbit prin parcurgerea unei distanțe foarte mari (de exemplu prin tuburi sau prin spațiul interplanetar); în acest mod se pot amplifica imaginile stelelor foarte depărtate sau radiațiile trimise de radar și reflectate de anumite ținte. Prin urmare, laserul ca amplificator constituie un dispozitiv foarte eficace în astronomie și astrofizică, precum și în sistemele de radar.

Laserul ca generator constituie o sursă nouă de radiație, radical deosebită de cele existente pînă acum. Calitățile luminii emise de acesta, ca înalta dirijabilitate, monocromaticitatea foarte pronunțată și intensitatea deosebit de mare, fac ca acest dispozitiv să găsească numeroase aplicații foarte importante în diferite domenii de activitate. În cele ce urmează vom aminti cîteva din aceste aplicații.

**Aplicații ale laserilor în știință.** Un domeniu important în care laserii vor avea aplicații revoluționare este spectroscopia. Datorită monocromaticității pronunțate a radiațiilor emise, laserii vor conduce la ridicarea preciziei spectroscopelor și spectrografelor optice de aproape 1 000 de ori și deci la posibilitatea măsurărilor astrospectroscopice pentru cele mai îndepărtate stele. De asemenea, monocromaticitatea radiațiilor furnizate de laseri în infraroșu va duce la revoluționarea spectroscopiei în acest domeniu, în care pînă acum, atît datorită monocromaticității reduse, cît și intensităților slabe ale radiațiilor emise de sursele obișnuite, nu au putut fi făcute progrese satisfăcătoare. În sfîrșit, spectroscopia Raman, care necesită surse intense pentru obținerea spectrelor respective, va găsi în generatoarele laser sursa de lumină ideală. Astfel de experiențe au fost realizate, cu rezultate foarte bune.

În interferometria la distanțe mari, laserul cu gaz este considerat utilizabil ca sursă de lumină standard. De exemplu, de cînd a fost obținută o imagine de interferență clară cu ajutorul unui interferometru Michelson pentru o dife-



rență de drum de 120 m, utilizînd ca sursă de lumină laserul cu heliu-neon, experiență care nu poate fi realizată cu ajutorul surselor de lumină clasice.

Deoarece frecvențele radiațiilor infraroșii pot să excite anumite vibrații moleculare, va fi posibil să se exercite, cu ajutorul laserului, un anumit control asupra reacțiilor chimice, ceea ce pînă acum nu era posibil din cauza slabei intensități a surselor de lumină obișnuite. Lumina devine astfel un adevărat „catalizator“.

Ca și maserii, laserii pot fi utilizați pentru verificarea teoriei relativității. Experiența de tip Michelson-Morley, pentru a proba existența posibilă a eterului în univers în care este cufundată și se mișcă lumea care ne înconjură, a fost deja propusă. În principiu, această experiență constă în compararea vitezelor luminii emise de un laser cu gaz atunci cînd ea se propagă în sensul mișcării Pămîntului și în sens contrar. Obținerea unui raport unitar pentru cele două viteze ar indica falsitatea ipotezei existenței eterului în univers. Monocromaticitatea pronunțată a radiațiilor emise de laseri conduce la o precizie de mii de ori mai mare decît precizia atinsă pînă acum cu lumină de la sursele clasice.

**Aplicații ale laserilor în tehnică.** Una dintre cele mai importante aplicații tehnice ale laserilor sînt comunicațiile. Deși semnalizarea cu lumină a fost utilizată din cele mai vechi timpuri, ea a fost limitată de intensitatea slabă și de zgomotul mare al surselor de lumină disponibile. Aceste limitări sînt înlăturate prin folosirea laserilor, deoarece aceștia furnizează lumină cu o intensitate foarte mare și aproape fără zgomot<sup>1</sup>, în plus, lumina este emisă de laseri în fascicul foarte bine dirijat.

Undele luminoase vor putea să transporte un volum foarte mare de informații, acest volum fiind direct proporțional cu frecvența radiațiilor utilizate. Raportul dintre frecvențele undelor vizibile și frecvențele undelor radio este cuprins între 1 000 și 10 000. Acest raport este o măsură a creșterii volumului de informații prin utilizarea undelor optice. O analogie intuitivă o constituie aparatele de radio obișnuite: pe gama undelor lungi se află mult mai puține posturi decît pe gama undelor scurte sau ultracurte. De exemplu, în televiziune unda purtătoare poartă un semnal cu o lărgime de bandă de 4 MHz, pe cînd un singur fascicul laser poate purta un semnal cu o lărgime de bandă de 100 000 MHz. Acest semnal poate transporta o cantitate de informații echivalentă cu cea transmisă de toate canalele de comunicații radio existente.

O primă problemă care se pune în fața realizării practice a comunicațiilor prin laseri este găsirea unor metode de modulare a luminii purtătoare de informații și de demodulare a ei pentru recepția acestor informații, problemă nerezolvată pînă în prezent. Nu încape îndoială că astfel de metode vor putea fi găsite în viitorul apropiat.

A doua problemă este aceea a propagării radiațiilor luminoase de la locul transmisiei la locul recepției, deoarece, pe de o parte, fasciculele de lumină

<sup>1</sup> Zgomotul este dat, în general, de radiația provenită prin emisie spontană. Cum în cazul laserilor semnalul luminos provine aproape exclusiv prin emisie stimulată, zgomotul acestor dispozitive este neglijabil.



sînt perturbate și mult slăbite de intemperiiile naturale (ceață, ploaie, zăpadă), iar pe de altă parte un drum terestru necesită curburi, în conformitate cu rutele accesibile și cu suprafața Pămîntului. Rezolvarea acestei probleme impune dirijarea fasciculelor de lumină de-a lungul unor tuburi, pe care le vom numi „ghiduri optice“, prin analogie cu „ghidurile de undă“ utilizate în tehnica de microunde. Printr-un singur „ghid optic“ se vor putea transmite mii de programe de televiziune.

În spațiul cosmic, lipsit de atmosferă, propagarea fasciculelor de lumină purtătoare de informații nu întîmpină dificultăți. Acest fapt, precum și dirijabilitatea mare a acestor fascicule creează posibilitatea transportării de energii luminoase la distanțe foarte mari. Astfel, comunicațiile în spațiul cosmic (interplanetare, între Pămînt și alte planete, între sateliții artificiali etc.) vor putea fi ușor realizate cu ajutorul laserilor. O primă realizare în acest sens a și apărut: a fost elaborată o experiență de „vedere a Lunii“. Semnalul laser trimis în direcția Lunii și reflectat de aceasta a fost recepționat pe Pămînt.

Acest rezultat indică mari posibilități pentru construirea radarului optic, numit „colidar“ (de la cuvintele englezești „coherent light detecting and ranging“). În comparație cu radarul cu microunde sau cu radarul cu lumină în arc pulsant, radarul cu laseri prezintă avantajele unei înalte rezoluții unghiulare, posibilitatea lucrului chiar la lumina zilei etc.

În industrie, aplicațiile laserilor sînt multiple, în special datorită energiei mari pe care o emit. De exemplu, dacă fasciculul emis de un laser cu rubin este concentrat cu ajutorul unei lentile cu distanța focală de 4 cm, energia fasciculului în focar este de aproximativ  $2\,000\,000\text{ cal/cm}^2$  ceea ce depășește energia emisă de orice altă sursă de energie radiantă.

O astfel de energie creează posibilitatea utilizării laserilor la declanșarea reacțiilor termionucleare prin focalizarea unui număr mare de fascicule laser într-un punct comun.

Concentrarea energiei prin focalizarea fasciculelor laser creează temperaturi foarte mari. De exemplu, focalizarea unui astfel de fascicul pe o suprafață cu diametrul de  $10\text{ }\mu$  dă naștere unei temperaturi de aproape  $18\,000^\circ\text{C}$ , temperatură capabilă să vaporizeze toate materialele existente. În acest mod au fost realizate găuri mici (cu diametrul de o miime de centimetru) în diamant, în oțel și în alte materiale dure. Astfel de găuri efectuate în mod regulat într-un film de metal subțire duc la realizarea de grile pentru tuburile electronice (clastroane), precum și la producerea unor circuite ultraminiaturale de diferite tipuri. Se poate presupune că laserii vor fi capabili să producă găuri suficient de mici pentru realizarea de filtre moleculare (separatoare de molecule).

O aplicație importantă a temperaturii ridicate realizată de laseri o constituie sudarea sau tăierea materialelor cu secțiuni mici, chiar dacă acestea se află în vid, ceea ce constituie un mare avantaj pentru construirea tuburilor electronice.

În chirurgie, fasciculul laser a fost utilizat pentru diferite suduri, sterilizări, cauterizări pe suprafețe foarte mici. De exemplu au fost înlăturate desprinderi de retină, au fost efectuate tratamente ale tumorilor în ochi și îndepărtate



unele țesuturi ale creierului, au fost făcute diferite intervenții asupra celulelor sau părților lor constitutive, de exemplu la nivelul celulelor sanguine etc. Toate aceste intervenții s-au limitat pînă acum numai la animale.

Aceste aplicații ale laserului în domeniul medical prezintă avantaje prin faptul că prin focalizare se pot obține densități de energie foarte mari pe suprafețe foarte mici (cîteva zecimi de micron) fără a vătăma țesutul dintre punctul de intervenție chirurgicală și lentila focalizatoare.

Am amintit aici numai cîteva din multiplele aplicații în care laserul este chemat să joace un rol însemnat pentru progresul științei și tehnicii secolului nostru. Viitorul va confirma, desigur, toate aceste așteptări.







# Televiziunea și aplicațiile ei

---

Șef de lucrări E. DAMACHI







Televiziunea a devenit astăzi, alături de radio și cinematograf, unul dintre cele mai răspândite și mai apreciate mijloace de informare și de educare a populației. Datorită posibilităților ei tehnice și artistice, televiziunea se bucură de o atenție deosebită.

Utilizarea televiziunii nu se limitează însă numai la domeniul transmiterii regulate de programe cultural-artistice în cadrul radiodifuziunii. În ultimul deceniu a apărut un număr mare de instalații de televiziune destinate folosirii în diferite ramuri ale economiei naționale, și în special în industrie. Televiziunea este deosebit de valoroasă în cazurile în care observarea directă a fenomenelor în scopuri industriale sau științifice e legată de anumite pericole sau practic imposibilă. Pentru toate aceste instalații de televiziune puse în slujba științei și tehnicii se utilizează denumirea de „televiziune aplicată”, sau „televiziune industrială”.

În urma extinderii domeniilor de aplicație a televiziunii, masele largi manifestă un interes deosebit față de această ramură a tehnicii, de formare destul de recentă.

## PRINCIPIILE DE BAZĂ ALE TELEVIZIUNII

Televiziunea este ramura tehnicii care se ocupă cu transmiterea prin procedee de telecomunicații a imaginilor în mișcare. Cu alte cuvinte, prin televiziune tehnica modernă a telecomunicațiilor oferă omului posibilitatea fie de a vedea la distanțe mai mari decât cele posibile prin vizibilitate directă, fie de a urmări vizual acele fenomene care se desfășoară în locuri inaccesibile sau periculoase pentru observarea directă.

În modul cel mai simplu, transmiterea imaginilor în televiziune se realizează în felul următor: o instalație specială, numită cameră de televiziune, percepe toate informațiile luminoase care vin de la scena ce se transmite și le transformă în semnale electrice corespunzătoare; semnalele electrice obținute trec printr-un canal de telecomunicație și ajung la receptor, unde are loc procesul invers, de reconstituire a imaginii scenei transmise. Totalitatea mijloacelor tehnice care asigură realizarea acestor procese de captare, transmisie și reproducere a imaginii poartă numele general de *sistem de televiziune*.

Din cele expuse mai înainte s-ar părea că transmisia imaginilor în televiziune este asemănătoare transmisiei pe cale electrică a sunetului. În realitate,



din cauza diferenței mari dintre recepția sunetelor și a imaginilor cu organele noastre de simț, transmisia pe cale electrică a imaginilor este mult mai complicată decât transmisia sunetelor.

Fiind destinat să extindă sau să completeze posibilitățile simțului vederii, un sistem de televiziune trebuie să aibă o comportare cât mai apropiată de cea a ochiului omenesc atunci când el urmărește nemijlocit desfășurarea unor acțiuni oarecare. Se știe că ochiul este asemănător unui sistem optic format dintr-o cameră fotografică, deoarece cuprinde un obiectiv (cristalinul) care proiectează imaginea obiectului observat pe o suprafață sensibilă la lumină, numită retină. Retina este constituită din ramificațiile nervului optic, avînd două feluri de terminații nervoase: unele în formă de conuri, sensibile atît la lumină, cît și la culoare, altele în formă de bastonașe, sensibile numai la lumină.

Structura discretă a retinei permite ochiului să aprecieze schimbările continue în spațiu și în timp ale strălucirii obiectelor din cîmpul vizual. Această proprietate a ochiului este folosită și în televiziune: fiecare obiect este privit ca o combinație a unui număr foarte mare de puncte elementare, iar diferitele cantități de lumină emise sau reflectate de aceste puncte sînt transformate în semnale electrice. Apare astfel noțiunea de *element de imagine*, definit ca cea mai mică suprafață cu un conținut luminos uniform care intervine în procesul de captare și reproducere a imaginilor în televiziune.

Pentru rezolvarea problemei transmisiei semnalelor de imagine s-a căutat să se folosească unele imperfecțiuni ale ochiului. Astfel, datorită puterii de separare limitată a ochiului, n-are sens să se construiască un sistem de televiziune capabil să transmită mai multe detalii decât cele percepute de ochi. De cele mai multe ori, puterea de separare a sistemului de televiziune (sau numărul de elemente de imagine) este stabilit printr-un compromis între finețea imaginii și prețul de cost al instalațiilor. De asemenea, datorită inerției senzației vizuale, ochiul nu poate urmări variațiile în timp ale fluxului luminos dacă frecvența de variație este mai mare decât o anumită frecvență critică. Această imperfecțiune a ochiului a făcut posibilă transmisia imaginilor prin metoda *transmiterii succesive* a informațiilor referitoare la cantitățile de lumină ale diferitelor elemente ale imaginii. Metoda simplifică în mod considerabil sistemul de televiziune, deoarece necesită numai un singur canal de telecomunicație, care este conectat pe rînd la fiecare din elementele de imagine. Transmiterea succesivă a imaginii prin elementele ei se numește *explorare*. În sistemele de televiziune radiodifuzată se folosește o explorare liniară, de la stînga la dreapta și de sus în jos, în două etape: întîi se descriu toate liniile impare, apoi se reiau din nou, de sus în jos liniile pare (fig. 1). În acest mod se obține o imagine completă de televiziune, care poartă denumirea de *cadru*.

Ținîndu-se seama de puterea de separare a ochiului, s-a ajuns la concluzia că structura liniară a imaginii (rastrul) nu mai este observată atunci când numărul de linii de explorare (fără a socoti cursele de întoarcere) este cuprins între 600 și 800. În țara noastră și în alte țări s-a adoptat un număr de 625 de linii de explorare și o frecvență de repetiție a cadrelor de 25 ori pe secundă.

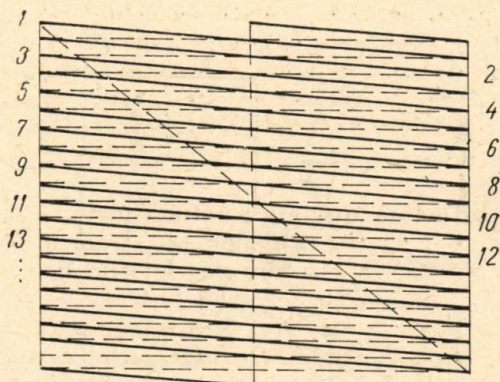


Un calcul simplu arată că pentru aceste valori, în cazul unei imagini dreptunghiulare cu raportul laturilor egal cu  $4/3$ , numărul elementelor de imagine este de aproximativ 500 000.

Experiența fotografiei și cinematografiei a permis ca la începutul dezvoltării televiziunii să se renunțe la reproducerea culorilor. Astfel s-a dezvoltat

Fig. 1. Metoda explorării liniare întrețesute.

— cursa activă (sau directă);  
 ---- cursa de întoarcere (sau inversă).



pe scară foarte largă televiziunea monocromă, care oferă astăzi telespectatorilor imagini capabile să satisfacă cerințele cele mai pretentioase.

**Cum se transmit imaginile?** Din expunerea principiilor care stau la baza transmisiei imaginilor prin procedee de telecomunicații a rezultat că un sistem practic de televiziune monocromă trebuie să conțină o instalație de captare a imaginii, un canal de transmisie a semnalelor electrice și o instalație de reproducere a imaginii. În prima etapă de dezvoltare a tehnicii televiziunii, captarea și reproducerea imaginilor se realiza cu ajutorul elementelor fotoelectrice combinate cu dispozitive mecanice de explorare. Astăzi, în televiziune se folosesc în mod exclusiv numai metode electronice de captare și reproducere a imaginii.

Captarea imaginilor se realizează cu ajutorul unor tuburi fotoelectronice de construcție specială: *tuburile videocaptoare*.

În principiu, acestea funcționează pe baza efectului fotoelectric<sup>1</sup>.

Primul tub videocaptor cu o sensibilitate mai mare, construit în 1933, a fost iconoscopul. Acesta este compus dintr-un balon de sticlă de formă specială din care s-a scos aerul și în interiorul căruia se află un ecran (numit mozaic) și un tun electronic (fig. 2). Mozaicul este constituit dintr-o placă extrem de subțire de mică, pe suprafața căreia sînt depuse un număr foarte mare de granule de argint, izolate între ele și activate cu cesiu.

<sup>1</sup> *Efect fotoelectric* — fenomenul eliberării electronilor de pe suprafața unui metal sau semiconductor sub acțiunea luminii. Electronii eliberați pot părăsi materialul (efect fotoelectric exterior) sau pot rămîne în interiorul lui, mărindu-i conductibilitatea (efect fotoelectric interior).



Suprafața opusă a plăcii de mică este acoperită cu o placă subțire metalică, numită placă de semnal.

Fiecare granulă de argint reprezintă, împreună cu un anod comun pentru toate elementele mozaicului, un catod fotoelectric microscopic, iar în raport cu placa de semnal — armătura unui condensator elementar.

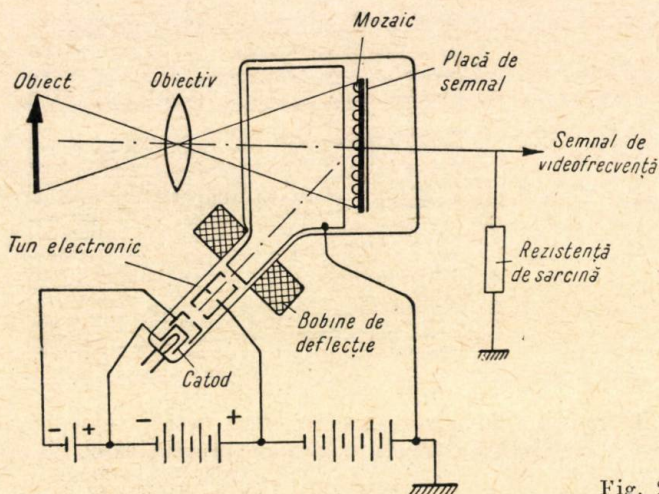


Fig. 2. Schema unui iconoscop.

Dacă pe mozaic se proiectează cu ajutorul unui obiectiv imaginea unui obiect oarecare, fotoelementele din locurile iluminate pierd electroni mulți, iar cele aflate în locurile întunecate pierd electroni puțini. Cu cât fotoelementul este mai iluminat, cu atât sarcina electrică pozitivă a condensatorului elementar corespunzător este mai mare. Pe mozaic apare astfel un „desen” cu sarcini electrice care corespund exact imaginii optice a obiectului respectiv. Cu alte cuvinte, mozaicul iconoscopului transformă imaginea optică a obiectului în imagine electrică, sau, cum se mai spune, în relief de potențial. „Citirea” imaginii electronice este realizată de un fascicul subțire de electroni care „explorează” imaginea, parcurgând-o linie cu linie de la stânga la dreapta și de sus în jos, executând astfel comutarea tuturor elementelor mozaicului. Ca rezultat, prin rezistența de sarcină a iconoscopului circulă curenți de descărcare, producând la bornele acestei rezistențe o tensiune electrică a cărei valoare instantanee este proporțională cu iluminarea elementului de imagine explorat în acel moment.

Fasciculul electronic de explorare este obținut de la un tun electronic ale cărui elemente se găsesc în interiorul gîtului de sticlă al iconoscopului. Cu ajutorul unui filament care emite electroni și a unor electrozi de focalizare, acest tun realizează un fascicul îngust de electroni, îndreptat spre centrul mozaicului. Mișcarea executată de fasciculul electronic în timpul procesului



de explorare se obține prin devierea acestuia cu ajutorul unor cîmpuri magnetice variabile în timp, create de două bobine speciale numite bobine de deflecție.

Semnalul obținut la ieșirea din iconoscop (numit semnal de videofrecvență) este amplificat și transmis printr-un canal de telecomunicație la receptor.

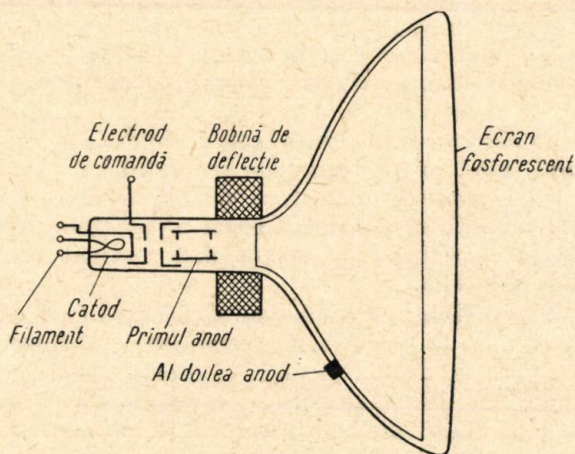


Fig. 3. Schema unui tub cinescop.

Reproducerea imaginii transmise la locul de recepție se realizează cu ajutorul unui tub catodic adaptat special la necesitățile televiziunii; el poartă numele de tub videoreproducător, sau tub cinescop.

Tubul cinescop este format dintr-un balon de sticlă de formă conică din care s-a scos aerul. Fundul lat al tubului, numit ecran (fig. 3), este acoperit cu o substanță specială, numită luminofor, capabilă să emită lumină atunci când este bombardată cu un fascicul de electroni.

În partea îngustă a balonului se află elementele unui tun electronic (un filament incandescent, un catod care emite electroni și câțiva electrozi cilindrici). Primului electrod cilindric i se aplică, de obicei, o tensiune negativă. Variind această tensiune, se poate comanda numărul de electroni ai fasciculului. De aceea electrodul respectiv se numește electrod de comandă. Deoarece strălucirea punctului de pe ecran bombardat de fasciculul electronic depinde de numărul de electroni din fascicul, prin variația tensiunii aplicate electrodului de comandă se poate varia strălucirea punctului luminos de pe ecran. Dacă fasciculul electronic este deviat cu ajutorul unor bobine de deflecție (așezate pe gîtul tubului) astfel încît el să se deplaseze în sincronism și după un drum asemănător cu cel descris de fasciculul explorator din tubul videocaptor și dacă la electrodul de comandă se aplică semnalul de videofrecvență primit de la iconoscop, atunci pe ecranul tubului cinescop se va reproduce în tonuri alb-negru imaginea scenei transmise.



Pentru a asigura deplasarea sincronă și după același drum a celor două fascicule de explorare, sistemul de televiziune conține o instalație specială, numită sincrogenerator. Această instalație furnizează o serie de impulsuri de sincronizare care comandă funcționarea unor dispozitive numite blocuri de baleiaj și situate atât la locul de captare, cât și la cel de reproducere a imaginii. La rândul lor, blocurile de baleiaj furnizează curenți sub formă de impulsuri în dinte de ferăstrău, care, alimentând bobinele de deflecție, asigură deplasarea sincronă și în fază a celor două fascicule electronice. În sistemele de televiziune destinate radiodifuziunii, impulsurile de sincronizare se transmit la receptor o dată cu semnalul de videofrecvență. Pentru ca impulsurile să nu deformeze imaginea, ele se transmit în timpul curselor inverse ale baleiajului, când nu se transmite semnalul de imagine.

După această prezentare sumară a principiilor care stau la baza tehnicii televiziunii, să analizăm acum elementele componente și funcționarea unui sistem de televiziune monocromă destinat transmiterii de programe pentru marea publică.

În principiu, un asemenea sistem este constituit dintr-o instalație de emisie și una de recepție. Schema-bloc a instalației de emisie este reprezentată în figura 4. Semnalul electric rezultat la ieșirea din tubul videocaptor este amplificat de un amplificator preliminar și trimis printr-un cablu coaxial pînă la etajul de amplificare și de formare a semnalului complex de televiziune. Aici semnalul de videofrecvență este amestecat cu impulsurile de

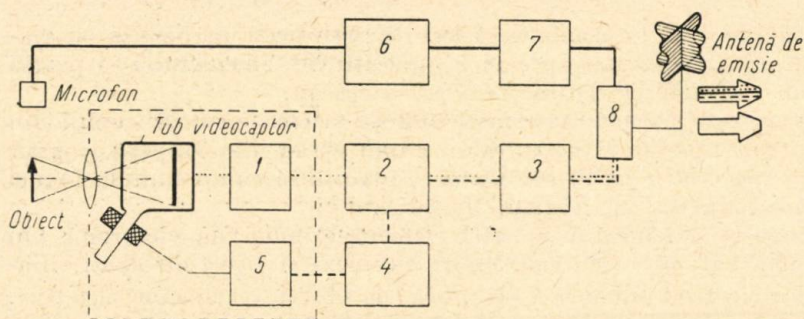


Fig. 4. Schema bloc a instalației de emisie a unui sistem de televiziune pentru radiodifuziune.

1 — amplificator preliminar de videofrecvență; 2 — etaj de amplificare și formare a semnalului complex de televiziune; 3 — emittor de imagine; 4 — sincrogenerator; 5 — blocul de baleiaj al camerei videocaptoare; 6 — amplificator de joasă frecvență pentru sunet; 7 — emittor de sunet; 8 — diplexer.

sincronizare aduse de la sincrogenerator, formînd așa-numitul semnal de televiziune complex, care se trimite apoi la emittor. În același timp, impulsurile de sincronizare se aplică și blocului de baleiaj care alimentează cu curenți în dinte de ferăstrău bobinele de deflecție ale fasciculului electronic din tubul videocaptor.



Obiectivul, tubul videocaptor, amplificatorul preliminar și blocul de baleiaj formează o instalație compactă: camera videocaptoare, sau camera de televiziune.

Emitătorul de televiziune cuprinde ansamblul de instalații destinat transmiterii imaginilor și programului audio asociat, adică două emițătoare dis-

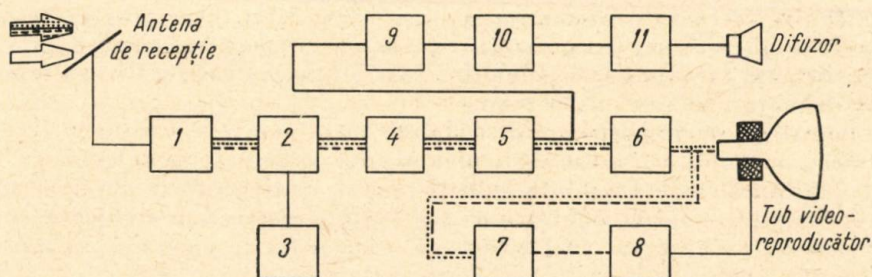


Fig. 5. Schema bloc a unui receptor de televiziune.

1 — amplificator de înaltă frecvență; 2 — schimbător de frecvență; 3 — oscilator local; 4 — amplificator comun de medie frecvență; 5 — detector de videofrecvență; 6 — amplificator de videofrecvență; 7 — etaj de separare a impulsurilor de sincronizare; 8 — blocul de baleiaj al receptorului; 9 — amplificator de medie frecvență pentru sunet; 10 — detector de sunet; 11 — amplificator de audiofrecvență.

tincte: unul pentru imagine și altul pentru sunet. Emițătorul de imagine primește drept semnal modulator semnalul complex de televiziune. Modulația se face în amplitudine, la fel ca și la emițătoarele obișnuite de radiodifuziune.

Emițătorul pentru sunet folosește modulația de frecvență și primește drept semnal modulator semnalul audio furnizat de un microfon așezat în imediata apropiere a camerei videocaptoare.

Cele două emițătoare alimentează antena de emisie prin intermediul unui dispozitiv special, numit diplexer, care asigură posibilitatea ca ambele emițătoare să lucreze pe aceeași antenă.

Schema-bloc a unui receptor de televiziune cu schimbare de frecvență și cu cale comună pentru imagine și pentru sunet este reprezentată în figura 5. Antena de recepție captează o parte din energia radiată de antena de emisie și furnizează un semnal de radiofrecvență, care este mai întâi amplificat în amplificatorul de înaltă frecvență și apoi în amplificatorul de frecvență intermediară și demodulat. Semnalul complex de televiziune obținut la ieșirea din detectorul de videofrecvență este amplificat din nou și aplicat la electrodul de comandă al tubului cinescop.

În același timp, semnalul complex de televiziune este aplicat la intrarea unui etaj de separare, care are rolul de a extrage din semnal impulsurile de sincronizare. Aceste impulsuri de sincronizare comandă apoi funcționarea blocului de baleiaj al receptorului. În acest tip de receptor, semnalul de audiofrecvență se obține tot la ieșirea din detectorul de videofrecvență, fiind apoi aplicat unui canal de sunet obișnuit.



Trebuie menționat că în camerele moderne de televiziune iconoscopul a fost înlocuit cu tuburi videocaptoare mai perfecționate. Între acestea se numără tuburile supericonoscop și superorticon (care funcționează tot pe baza efectului fotoelectric exterior) și tubul vidicon (al cărui principiu de funcționare se bazează pe efectul fotoelectric interior).

Pentru transmiterea prin radio a programelor de televiziune se folosesc unde cu frecvențe cuprinse între 40 și 1 000 MHz, care aparțin domeniului undelor ultracurte. Aceste unde radio se pot propaga suficient de bine numai pe distanțe care nu depășesc cu mult vizibilitatea directă. Pentru transmiteri la distanțe mai mari de 100 km se folosesc de obicei stații de retransmisie, adică stații de recepție-emisie instalate între punctele terminale. Ele recepționează, amplifică și transmit mai departe semnalele de televiziune. Un șir de asemenea stații poartă numele de linie de radiorelee. În ele frecvența purtătoare este de obicei mai mare de 1 000 MHz, deoarece aceste frecvențe permit concentrarea energiei radiate într-un fascicul foarte îngust și realizarea unor legături între stații cu puteri foarte reduse.

Liniile de radiorelee pot transmite semnalele de televiziune concomitent cu sute de convorbiri telefonice la distanțe de câteva mii de kilometri.

Transmisia semnalelor de televiziune la distanțe mari se poate realiza și cu ajutorul liniilor de cabluri coaxiale. Însă acestea sînt mai scumpe și mai complicate în exploatare.

O metodă originală de transmisie a semnalelor de televiziune la distanțe relativ mari a fost propusă încă din anul 1937. Într-un asemenea sistem stația-releu este instalată nu pe sol, ci într-un avion, care zboară la mare altitudine, undeva între punctul de emisie și cel de recepție.

În ultimii ani, avioanele au fost înlocuite prin sateliții artificiali ai Pământului, folosirea acestora permițînd realizarea unor transmisii la distanțe foarte mari. Ca exemplu se poate menționa instalația „Telstar“, care asigură schimbul de programe între America și Europa.

*Cum se transmit imaginile în culori.* Transmisia și reproducerea imaginilor în culori constituie o realizare importantă în perfecționarea televiziunii, deoarece prezența culorilor apropie imaginea televizată de cea naturală și îi îmbunătățește simțitor calitatea. În afară de satisfacția de ordin artistic pe care o prilejuiește, introducerea culorilor mărește contrastul și conținutul de detalii al imaginii reproduse și creează un sensibil efect de relief. Realizarea televiziunii în culori este strîns legată de cunoașterea mecanismului de percepere a culorilor de către ochiul omensec.

După cum se știe, fiecărei lungimi de undă a radiațiilor din spectrul vizibil îi corespunde o anumită senzație de culoare. Din punct de vedere psihologic, culoarea este caracterizată prin trei atribute: strălucire, nuanță spectrală și saturație.

Strălucirea este gradul de luminozitate a culorii și permite perceperea acesteia. Senzația de strălucire este proporțională cu cantitatea de energie luminoasă care cade asupra retinei și de aceea strălucirea este singurul atribut comun atît al obiectelor colorate, cît și al celor necolorate.



Nuanța spectrală este atributul care ne permite să deosebim o culoare de alta și este caracterizată de lungimea de undă dominantă a radiației luminoase.

Saturația, sau puritatea culorii, exprimă gradul de diluare al acesteia cu lumină albă. Datorită saturației putem aprecia dacă o culoare este vie sau spălăcită, adică putem deosebi, de exemplu, culoarea roșie de culoarea roz. Saturația luminii albe este socotită 0%, iar a luminii monocromatice 100%.

Culorile care au o nuanță spectrală determinată, se numesc cromatice (roșu, verde, albastru etc.), spre deosebire de culorile acromatice, care se obțin prin variația strălucirii unei surse de lumină albă și conțin toate gradațiile de la alb la negru (culorile acromatice sînt caracterizate printr-un singur atribut: strălucirea).

Experimental s-a stabilit că senzația unei culori poate fi provocată nu numai de fluxul luminos corespunzător unei anumite lungimi de undă, ci și de fluxuri luminoase conținînd amestecuri de radiații de diferite lungimi de undă, luate în proporții determinate. S-a constatat astfel că este posibilă reproducerea unui mare număr de culori existente în natură prin amestecarea în anumite proporții a numai trei culori: roșu, verde și albastru, numite fundamentale sau primare. Acest principiu al sintezei culorilor naturale din trei culori fundamentale stă la baza tuturor sistemelor de televiziune în culori. Imaginea care se transmite se descompune în trei imagini monocrome, cîte una în fiecare din culorile fundamentale, semnalele electrice corespunzătoare transmițîndu-se separat prin canale de telecomunicație. Reproducerea imaginii inițiale la locul de recepție se obține prin suprapunerea convenabilă a celor trei imagini monocrome recepționate.

Se cunosc două categorii de sisteme practice de televiziune în culori: sisteme cu transmisie succesivă (secvențială) a componentelor de culoare și sisteme cu transmisie simultană a componentelor de culoare.

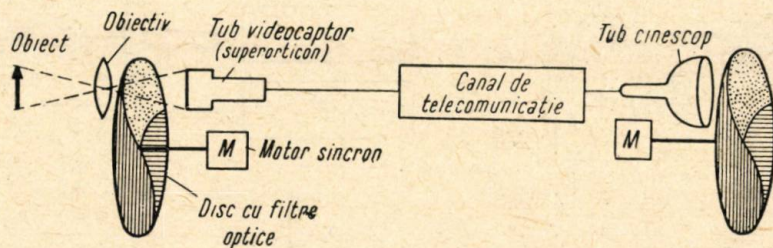


Fig. 6. Schema simplificată a unui sistem secvențial de televiziune în culori.

Schema simplificată a unui sistem cu transmisie secvențială a culorilor este reprezentată în figura 6. La locul de captare a imaginii, între obiect și tubul videocaptor se rotește un disc cu trei filtre optice: roșu, verde și albastru. Un disc asemănător se rotește și în fața ecranului tubului cinescop la locul de recepție. Cele două discuri se rotesc sincron (cu aceeași viteză) și cu aceeași fază,



adică filtrele optice de aceeași culoare trebuie să treacă simultan prin fața fotocatodului tubului videocaptor și a ecranului tubului videoreproducător. Dacă în fața tubului videocaptor se află la un moment dat filtrul optic roșu, pe fotocatod se proiectează numai detaliile obiectului care au nuanțe de roșu. Semnalele de videofrecvență transmise la locul de recepție printr-un canal de telecomunicație sînt redată pe ecranul cinescopului sub forma unei imagini în alb-negru, însă deoarece în fața ecranului se află în acest moment tot un filtru roșu, imaginea este percepută cu imagine roșie. În momentele următoare se transmit imaginile obiectului cu nuanțe de verde și albastru. Dacă schimbarea filtrelor se face suficient de repede, cele trei imagini monocrome sînt percepute de ochi ca o singură imagine în culori.

Tuburile videocaptor și videoreproducător folosite în acest sistem nu se deosebesc cu nimic de tuburile folosite în televiziunea monocromă. Între dezavantajele principale ale sistemului secvențial se numără sensibilitatea redusă a camerei videocaptoare, dimensiunile limitate ale ecranului cinescopului, calitatea scăzută a imaginilor (în special în cazul obiectelor care se mișcă destul de repede) și necesitatea unui canal de transmisie mult mai complicat decît în cazul televiziunii monocrome. Datorită acestor neajunsuri, sistemul secvențial nu a găsit aplicare în televiziunea radiodifuzată.

Schema simplificată de funcționare a unui sistem de televiziune în culori cu transmisie simultană a culorilor este reprezentată în figura 7. La locul de captare, imaginea obiectului este descompusă optic în trei imagini monocrome

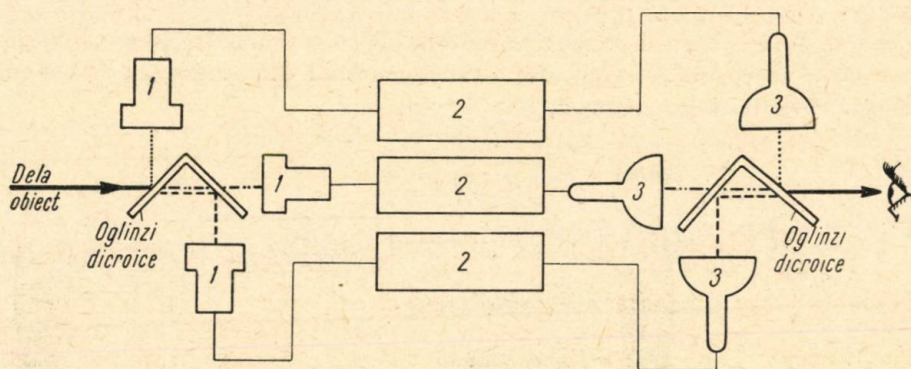


Fig. 7. Schema simplificată a unui sistem simultan de televiziune în culori.  
1 — tuburi videocaptoare; 2 — canale de transmisie; 3 — tuburi cinescop.

corespunzătoare culorilor fundamentale, care sînt proiectate pe fotocatozii a trei tuburi videocaptoare obișnuite. Semnalele de videofrecvență culese la ieșirea din tuburile videocaptoare sînt transmise simultan prin trei canale de telecomunicație independente. La receptor semnalele se aplică electrozilor de comandă a trei tuburi videoreproducătoare. Așezînd în fața ecranului fie-



cărui tub un filtru colorat ales în mod convenabil și suprapunînd cele trei imagini monocrome, se obține imaginea în culori a obiectului televizat.

Pentru descompunerea imaginii obiectului în imagini monocrome se folosesc de obicei două oglinzi selective, de construcție specială, numite oglinzi dicroice. Acestea sînt, de fapt, niște plăcuțe de sticlă (așezate sub un unghi de  $90^\circ$ ) una față de alta, acoperite cu pelicule subțiri care posedă proprietatea de a reflecta numai radiațiile de o anumită culoare, lăsînd să treacă prin ea toate celelalte radiații.

Instalația de reproducere cu trei tuburi fiind foarte scumpă și incomodă în exploatare, poate fi înlocuită cu un singur tub cu ecran tricromatic, care, datorită construcției sale mult mai complicate, permite să se obțină imaginea în culori direct pe ecranul său<sup>1</sup>.

Sistemul simultan de televiziune în culori este mai complicat decît sistemul secvențial, însă permite să se obțină o imagine calitativ mai bună. Dacă ținem seama de faptul că una din condițiile de bază impuse actualelor sisteme de televiziune în culori destinate uzului public este compatibilitatea cu sistemele de televiziune monocromă, atunci sistemul simultan prezintă avantaje esențiale. Prin compatibilitatea sistemului de televiziune în culori cu sistemul alb-negru se înțelege proprietatea sistemului de a asigura recepția în alb-negru cu un televizor obișnuit a emisiunilor în culori, precum și recepția în alb-negru a emisiunilor în alb-negru cu un televizor în culori.

Această condiție are o importanță deosebită pentru țările unde există o rețea dezvoltată de televizoare în alb-negru, care va continua să funcționeze încă o perioadă destul de îndelungată pînă la realizarea trecerii totale la televiziunea în culori. De asemenea compatibilitatea oferă posibilitatea de a folosi pentru transmisiunile în culori echipamentul actual din stațiile de emisiune și de pe liniile de radiorelee și cabluri coaxiale.

Au fost elaborate mai multe variante de sisteme compatibile de televiziune în culori, toate avînd la bază metoda transmiterii simultane a informațiilor de culoare. Cel mai răspîndit sistem compatibil existent este sistemul cunoscut sub numele de sistemul NTSC, adoptat în S.U.A., Japonia și în alte țări.

După o metodă asemănătoare se realizează și transmisiunile experimentale de televiziune în culori în Uniunea Sovietică.

În ultimul timp prezintă interes sistemul de televiziune în culori SECAM, elaborat în Franța, precum și sistemul PAL, experimentat în R.F.Germană.

*Cum dobîndesc relief imaginile.* Sistemele de televiziune analizate pînă acum au ca rezultat transmiterea unei imagini în plan, adică imagini bidimensionale, deoarece obiectul televizat este perceput numai dintr-un singur punct cu un singur obiectiv. Întrucît percepția spațială (în relief) a obiectelor tridimensionale se bazează pe vederea binoculară, pentru reproducerea imaginilor în relief este necesar să se transmită prin metode de televiziune două imagini ale obiectului televizat, captate din două direcții diferite. Această pereche de imagini poartă numele de pereche stereo.

<sup>1</sup> Utilizarea cea mai largă a căpătat-o în prezent tubul tricromatic cu mască, care are trei tunuri electronice situate în același balon de sticlă.



Pentru obținerea unei perechi stereo, camera de televiziune conține două tuburi videocaptoare, pe fotocatozii cărora se proiectează imaginea obiectului televizat cu ajutorul a două obiective aflate la o distanță egală cu distanța dintre rînduri (fig. 8).

Transmiterea celor două semnale de imagine se poate realiza fie prin metoda simultană, cu ajutorul a două canale de telecomunicație separate, fie prin metoda secvențială, cu ajutorul unui singur canal și a unor comutatoare speciale. În ultimul caz, transmisia semnalelor de imagine se poate realiza și cu un singur tub videocaptor.

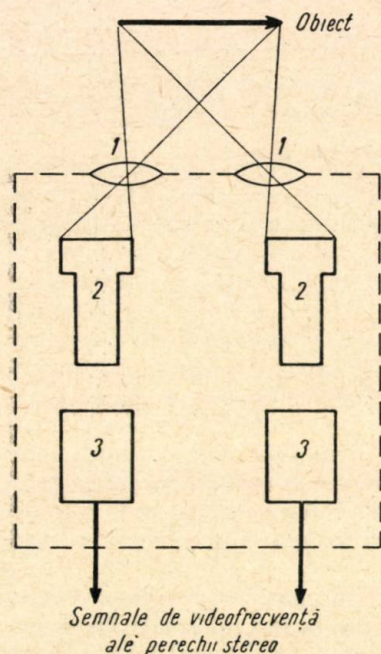


Fig. 8. Schema simplificată a unei camere de televiziune în relief.

1 — obiective; 2 — tuburi videocaptoare; 3 — amplificatoare preliminare de video-frecvență.

televiziunii în economie au ieșit la iveală de-abia în ultimii zece ani, datorită construirii unor tuburi videocaptoare de sensibilitate mult mai mare și de dimensiuni reduse. Un rol important l-a avut folosirea în acest domeniu a ultimelor cuceriri din celelalte ramuri ale tehnicii înrudite cu televiziunea, cum ar fi tuburile electronice miniatură, elementele semiconductoare sau schemele imprimate. Toate acestea au permis să se realizeze camere de luat vederi mai simple și mai ușor de manevrat, de greutate și dimensiuni reduse și la un preț de cost avantajos.

Spre deosebire de sistemele de televiziune utilizate în radiodifuziune, unde semnalul de video-frecvență se transmite prin radio de la emițător la receptor,

La locul de recepție, perechea de imagini stereo se proiectează pe un ecran prin filtre optice diferite, cum ar fi un filtru roșu și unul albastru. Spectatorii trebuie să privească imaginile prin ochelari la care una din lentile să fie roșie, iar cealaltă albastră. În același mod se poate asigura ca ochiul drept să vadă numai imaginea din dreapta, iar cel stîng numai imaginea din stînga. În locul filtrelor colorate se pot folosi de asemenea și filtre polarizate. În acest caz, cele două imagini ale perechii stereo trebuie proiectate și vizionate prin filtre cu plane de polarizare reciproc perpendiculare.

## TELEVIZIUNEA ÎN INDUSTRIE, ȘTIINȚĂ ȘI CULTURĂ

Deși primii pași în direcția folosirii televiziunii în industrie au fost făcuți încă înainte de cel de-al doilea război mondial, posibilitățile vaste pe care le oferă folosirea



în sistemele de televiziune industrială transmisia se face de obicei prin cabluri coaxiale sau prin fire (din această cauză aceste sisteme mai poartă și denumirea de sisteme de televiziune în circuit închis).

Aplicațiile televiziunii în industrie s-au dezvoltat în două direcții principale. Prima direcție, care a cunoscut cea mai largă dezvoltare, constă în folosirea televiziunii ca mijloc de obținere a informațiilor vizuale asupra desfășurării diferitelor procese de producție sau a diferitelor fenomene ce se petrec în locuri inaccesibile vederii directe. A doua direcție constă în folosirea televiziunii pentru automatizarea proceselor de producție.

În prezent se cunosc numeroase exemple de aplicare în industrie a sistemelor de televiziune din prima categorie. Unul dintre domeniile în care acestea și-au găsit cele mai importante aplicații este industria metalurgică.

În afară de aportul adus la organizarea centralizată a procesului de producție prin serviciul de dispecer, televiziunea contribuie efectiv la îmbunătățirea condițiilor de muncă ale personalului de deservire a cuptoarelor, furnalelor sau laminoarelor.

În unele țări, camera de televiziune, protejată împotriva acțiunii temperaturilor înalte, a fost introdusă în interiorul cuptoarelor sau furnalelor pentru a putea fi observat procesul de topire a metalului.

Televiziunea este folosită și pentru mecanizarea totală a lucrărilor subterane în industria carboniferă. Se folosesc camere videocaptoare pentru observarea funcționării și pentru comanda de la distanță a unei combine de extragere a cărbunilor.

Se cunosc exemple de aplicare a televiziunii la forarea puțurilor de mare adâncime pentru determinarea naturii sau grosimii straturilor geologice.

În centralele termoelectrice, instalațiile de televiziune se folosesc pentru observarea dintr-un loc central a indicațiilor aparatelor de pe tablourile de comandă a turbogeneratoarelor și cazanelor de aburi sau pentru controlul continuu al procesului de ardere a combustibilului în focare.

Televiziunea este introdusă pe scară largă în transporturi. În transportul feroviar, televiziunea este folosită la sortarea vagoanelor și formarea trenurilor, la observarea desfășurării operațiilor de încărcare și descărcare a vagoanelor etc. De asemenea televiziunea a fost utilizată și pentru asigurarea securității circulației la intersecțiile aglomerate de căi ferate sau de căi ferate cu drumuri publice.

În unele porturi, televiziunea a fost introdusă pentru ca dispecerul să poată observa rada, cheiurile, platformele de mărfuri și alte locuri din port în care se desfășoară lucrări. În transporturile maritime și fluviale, televiziunea este folosită și pentru mărirea siguranței de navigație.

Cu ajutorul unor sisteme de televiziune cu putere de separare ridicată, se poate mări de 12 ori precizia și viteza asamblării obiectelor de dimensiuni foarte mici. Camera de televiziune dă posibilitatea să se observe starea obiectelor aflate sub apă, ușurând în mare măsură construcția și exploatarea părților de sub apă ale construcțiilor hidrotehnice. Televiziunea a fost introdusă și în exploatarea forestieră pentru descoperirea incendiilor din păduri.



Instalațiile de televiziune sînt folosite pe scară largă nu numai în industrie, dar și în cercetarea științifică. Combinarea microscopului cu un sistem de televiziune permite să se extindă mult posibilitățile acestuia și în special să se folosească radiații ultraviolete pentru observarea microorganismelor, ceea ce nu este posibil atunci cînd imaginea este recepționată direct de ochi. Combinarea unei camere de televiziune cu un telescop mărește considerabil posibilitățile cercetărilor astronomice. Televiziunea permite să se realizeze controlul vizual al reacțiilor nucleare. În laboratoarele de fizică atomică se folosesc sisteme de televiziune în relief pentru comanda manipuletoarelor mecanice necesare lucrărilor cu materiale radioactive.

Unul din avantajele esențiale ale televiziunii constă în posibilitatea de a folosi radiații invizibile ochiului omenesc. Această proprietate este folosită în diverse aplicații ale televiziunii pentru a pune în evidență fie fenomene sau aspecte noi, care nu puteau fi observate la lumina obișnuită, fie structura internă a corpurilor iradiate.

Radiațiile invizibile pot fi utilizate în două moduri. În primul rînd, ele pot acționa direct asupra tubului videocaptor, care are un fotocatod sensibil la radiația respectivă. Astfel au fost construite tuburi videocaptoare de tip vidicon, care pot funcționa cu radiații infraroșii, ultraviolete sau chiar cu radiații Roentgen. În al doilea rînd, se poate recurge la un element intermediar care să transforme radiațiile invizibile în lumină normală. Dispozitivele de acest fel au căpătat denumirea de convertoare de imagini.

S-au construit și aparate care măresc strălucirea imaginilor obținute într-un mod oarecare, numite intensificatoare de imagini. Convertoarele și intensificatoarele de imagini sînt folosite împreună cu camere de televiziune în special în defectoscopia nedestructivă a metalelor și în medicină. Cu ajutorul tuburilor videocaptoare sensibile la radiații infraroșii se poate realiza vederea prin fum sau chiar în întuneric.

A doua direcție de dezvoltare a aplicațiilor televiziunii în industrie este aceea a utilizării posibilităților oferite de aceasta pentru automatizarea procesului de producție. În sistemele de televiziune folosite în acest scop, în locul imaginii obiectului transmis se obține un semnal de comandă. În unele cazuri, semnalul de comandă poate fi rezultatul analizei imaginii de pe ecranul cine-scopului cu ajutorul mașinilor de calculat. Prin înlocuirea omului la recepție printr-un operator electromecanic automat, este posibil să se realizeze automatizarea prin televiziune a unor procese de producție oricît de complexe. Televiziunea este utilizată pentru efectuarea unor măsuri calitative destul de precise. Astfel au fost realizate instalații de televiziune cu două camere videocaptoare care permit măsurarea, fără contact cu obiectul, a lățimii tablelor laminate în metalurgia prelucrătoare fără ca prin aceasta să se întrerupă procesul tehnologic. Dacă impulsurile electrice rezultate la ieșirea celor două camere se aplică la un sistem de comandă și reglare, se poate realiza automatizarea operațiilor de corectare a lățimii tablelor. Recent, la o uzină din U.R.S.S. s-a experimentat introducerea unui bluming a cărui funcționare este complet automatizată cu ajutorul televiziunii.



Există informații în legătură cu utilizarea televiziunii pentru detectarea automată a petelor sau neregularităților de pe suprafața unui lingou sau a unei piese în timpul procesului de fabricare, numărarea automată a particulelor ș.a.

În sfârșit, prin combinarea sistemului de televiziune cu o mașină care poate executa diferite operații logice, există posibilități de realizare a unor automate capabile să identifice formele sau să descopere cu precizie un obiect dat între alte obiecte diferite.

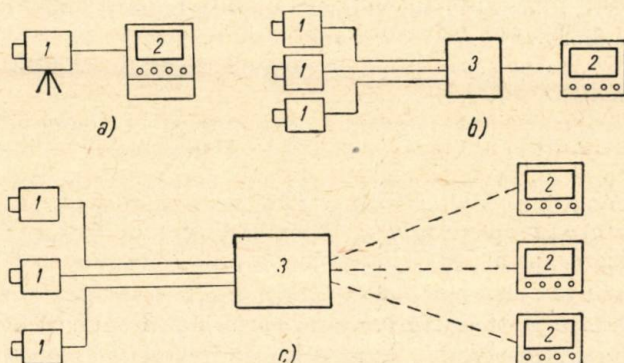
În general, instalațiile de televiziune folosite în industrie trebuie să fie simple, compacte și ieftine. Din schemele-bloc ale unor asemenea instalații, reprezentate în figura 9, rezultă că ele sînt constituite din una sau mai multe camere video-captoare și unul sau mai multe receptoare pe ecranul cărora este reprodusă imaginea transmisă. În majoritatea cazurilor, cînd distanța dintre camere și receptoare nu depășește cîteva sute de metri, legătura între aceste elemente se realizează cu ajutorul cablurilor coaxiale. Atunci cînd distanța este mult mai mare, semnalul de videofrecvență modulează o undă purtătoare și transmisia se asigură astfel printr-un canal de radiofrecvență. În aceste cazuri, schema-bloc conține o instalație suplimentară, numită pupitru de comandă, care cuprinde sursele de alimentare, sincrogeneratorul și un emițător de putere redusă.

În vederea simplificării instalațiilor și a micșorării prețului de cost în televiziunea industrială, se pot abandona metodele și standardele folosite în televiziunea radiodifuzată.

Astfel, în aplicațiile industriale, gama obiectelor televizate este limitată; cel mai des se întîlnesc obiecte cu mobilitate redusă și cu detalii nu prea mici. În aceste condiții, folosirea descoperirii imaginii în 500—600 rînduri la 25—30

Fig. 9. Schema bloc a sistemelor de televiziune industrială

a) Sistem cu un singur canal (pentru distanțe de 150—200 m);  
b) Sistem cu mai multe canale (sisteme de dispecer pentru distanțe de cîteva sute de metri);  
c) Sistem cu mai multe canale cu transmiterea imaginii la distanțe mai mari (prin canale de radiofrecvență); 1 — camere video-captoare; 2 — receptoare de televiziune; 3 — pupitre de comandă.  
— cablul coaxial; - - - canal de radiofrecvență.



de cadre pe secundă, nu mai este justificată, o imagine cu structură liniară vizibilă fiind multumitoare.

În unele aplicații se poate obține o simplificare a canalului de transmisie prin folosirea sistemelor de televiziune cu explorare încetinită. Această metodă, prin adoptarea unor frecvențe foarte scăzute de repetiție a cadrelor, permite



transmisia semnalelor video prin cabluri telefonice obișnuite. În același timp se mărește foarte mult sensibilitatea tuburilor videocaptoare. Metoda necesită însă adoptarea unor măsuri speciale pentru menținerea strălucirii la o valoare constantă în timpul transmisiei unui cadru.

În cele mai multe cazuri, în televiziunea industrială se impun condiții mai severe instalației de captare a imaginilor. O importanță deosebită o prezintă bineînțeles tubul videocaptor, care trebuie să aibă dimensiuni reduse, sensibilitate mare și posibilitate de reglare simplă a regimului de funcționare. Camerele videocaptoare trebuie să fie prevăzute de asemenea cu dispozitive speciale de comandă de la distanță.

Dacă la cele expuse adăugăm că în anumite aplicații este necesar să se transmită imagini în culori sau în relief, putem trage concluzia că televiziunea industrială are de rezolvat probleme destul de variate și de complexe.

## PROBLEMELE ACTUALE ȘI PERSPECTIVELE DE DEZVOLTARE ALE TELEVIZIUNII

În etapa actuală, tehnica televiziunii se găsește în plină dezvoltare. Aproape zilnic aflăm din presă noi știri asupra progresului realizat de această ramură a tehnicii. Deși eforturile principale ale cercetătorilor sînt canalizate spre domeniul televiziunii în culori, se continuă totuși și studiul unor probleme legate de perfecționarea sistemelor de televiziune monocromă. Se lucrează mult la îmbunătățirea parametrilor sistemelor de televiziune monocromă prin folosirea unor tuburi videocaptoare și videoreproducătoare cît mai corespunzătoare. Astfel s-a reușit să se mărească sensibilitatea superorticonului de 500 de ori, iar cea a vidiconului de 8 ori fără modificarea dimensiunilor acestor tuburi.

S-au realizat o serie de progrese și în domeniul tuburilor videoreproducătoare. Tendința de a micșora dimensiunile tuburilor videoreproducătoare a făcut ca în numeroase țări să se construiască tuburi cinescop cu balon plat, a cărui formă se apropie de aceea a unui paralelipiped îngust de sticlă. Cu ajutorul unui cinescop cu balon plat în formă de cutie paralelipipedică cu dimensiunile  $500 \times 400 \times 75$  mm s-a putut realiza o putere de separare de trei ori mai mare decît aceea a cinescoapelor obișnuite. Se lucrează cu stăruință și la realizarea unui ecran de recepție electroluminescent, care ar permite reproducerea imaginilor de televiziune pe ecrane foarte mari.

În domeniul televiziunii în culori se lucrează intens pentru găsirea unui sistem de televiziune cît mai convenabil atît din punctul de vedere al prețului de cost, cît și al calității imaginii transmise.

În țara noastră, televiziunea s-a dezvoltat cu pași rapizi în anii regimului de democrație populară.

La noi în țară în anul 1955, a fost construită și a intrat în funcțiune o stație experimentală de televiziune. În anul 1957 au început emisiunile studioului



de televiziune București. Ulterior au continuat lucrările pentru asigurarea recepționării programului de televiziune al Studioului București în alte regiuni ale țării. Experiența bogată dobândită de specialiștii din țara noastră a permis să se treacă într-un timp scurt la construirea unor stații de retransmisie de mică putere cu performanțe moderne, care asigură în prezent recepția programelor de televiziune în cele mai multe orașe și sate din patria noastră. Aceste instalații au fost construite în laboratoarele Ministerului Poștelor și Telecomunicațiilor, iar programul de televiziune emis de Studioul București este recepționat în condiții bune în regiunea centrală a Moldovei, la Iași și Bîrlad, la Brașov și Sibiu, la Pitești și Craiova și în alte orașe. Au intrat în funcțiune de asemenea linii de radiorelee între București și respectiv Constanța, Timișoara, Cluj și Oradea.

Prin punerea în funcțiune a liniilor magistrale care leagă capitala țării noastre cu capitalele celorlalte țări socialiste s-au creat condițiile necesare schimbului de programe cultural-artistice cu țările participante la organizația „Intervision“.

Industria noastră electronică în plină dezvoltare furnizează în prezent o mare parte din materialele necesare producției de televizoare.

Desăvîrșirea procesului de automatizare a producției va impune într-un viitor apropiat și introducerea în exploatare a sistemelor de televiziune industrială. În aceste condiții, televiziunea va deveni un auxiliar prețios în opera de construire a socialismului în țara noastră.







Prof. Univ. EDM. NICOLAU







Deși este o știință foarte tânără, cibernetica a înregistrat o serie de succese importante, situându-se actualmente printre disciplinele științifice care se impun în principalele domenii de activitate. Dezvoltarea impetuoasă a noii și originalei orientări a gândirii științifice, desenată de noțiunea de cibernetică, atrage astăzi în mod legitim atenția celor care lucrează în cele mai diferite discipline științifice.

În ceea ce privește definiția ciberneticii, trebuie observat că în momentul de față sînt propuse mai multe definiții, fiecare din ele subliniind unul din aspectele acestei discipline. Cibernetica poate fi definită drept știința proceselor de conducere a sistemelor tehnice și biologice, iar conducere se numește organizarea unor acțiuni spre un țel bine definit. În legătură cu această definiție, trebuie remarcat faptul că procese de conducere se întîlnesc atît la organismele vii, cît și la automatele realizate de om, și chiar în societatea în care trăim.

Ideea unicității legilor care guvernează procesele de conducere, indiferent dacă ele se desfășoară în sistemul nervos al unei ființe vii, într-un calculator electronic sau intervin în unele probleme economice concrete, este o achiziție relativ recentă a științei.

Ca și pentru alte științe, este destul de greu să se fixeze o dată certă pentru nașterea ciberneticii. În accepția actuală acest termen a început să circule din 1948, datorită apariției lucrării *Cibernetica, sau control și comunicație la animale și la mașină* a matematicianului Norbert Wiener.

Astăzi cibernetica cunoaște o dezvoltare extraordinară în cele mai variate domenii de activitate, cum sînt, de pildă, dispozitivele cibernetice. Acestea au un rol deosebit de important în zborurile cosmice, asigurînd funcționarea sistemelor automate de la bordul rachetelor cosmice, care sînt dirijate de la Pămînt la distanțe de zeci de milioane de kilometri. În același timp, cibernetica a reușit să explice și unele dintre mecanismele de reglaj celular, adică în interiorul unor sisteme automate ale căror dimensiuni sînt de ordinul zecilor de microni.

Ea contribuie la mărirea productivității muncii prin așa-numita conducere optimă a marilor uzine chimice, asigurînd totodată o planificare optimă, tradusă prin realizarea unor economii nebănuite.

Dar cibernetica intervine și în domeniul muncilor intelectuale. În acest sens amintim experiența efectuată la Timișoara de un grup de ciberneticieni romîni, sub directa conducere a acad. Gr. C. Moisil, privind traducerea automată a unui text din limba engleză în limba romînă cu ajutorul unui calculator electronic rapid, proiectat și construit la noi în țară.



În legătură cu aceasta trebuie să scoatem în evidență una din trăsăturile esențiale ale ciberneticii, și anume utilizarea calculatoarelor rapide. Pentru rezolvarea diferitelor probleme puse de știință și tehnică, ciberneticienii utilizează astăzi calculatoare electronice rapide. Ele se numesc astfel deoarece pot lucra cu o viteză mare, care variază — după clasa mașinii — între 10 000 și 2 000 000 de operații pe secundă.

O mașină relativ lentă, capabilă să efectueze doar zece mii de operații pe secundă, realizează într-o singură zi aproape un miliard de operații. Pentru același volum de calcule, un om capabil să efectueze câte o operație la fiecare 10 secunde și care ar lucra continuu 24 de ore pe zi, ar avea nevoie de 300 de ani!

Cibernetica devine eficientă chiar și acolo unde rezolvarea științifică a problemelor necesită un volum foarte mare de calcule. Astăzi calculatoarele electronice efectuează toate calculele necesare într-un timp foarte scurt, făcând astfel posibilă rezolvarea unei serii întregi de probleme care înainte nu puteau fi rezolvate în timp util.

Pentru a ușura expunerea principiilor generale ale ciberneticii trecem mai întâi în revistă principalele etape istorice din dezvoltarea acestei științe, după care vom arăta principalele sale capitole, aplicațiile ei în diferitele domenii de activitate. Cu acest prilej se vor desprinde și problemele de ordin filozofic și social pe care le ridică, dintre care cele mai importante sînt: raportul dintre mașină și gândire și implicațiile sociale ale ciberneticii.

## CONSIDERAȚII ISTORICE

Deși termenul de cibernetică apare abia în 1948, totuși el nu este nou. Pentru prima dată îl găsim în clasificarea științelor făcută de André Marie Ampère, în lucrarea *Essai sur la philosophie des sciences*, apărută în 1838. În această lucrare, bazată pe un schematism rigid, marele fizician Ampère încerca să clasifice toate disciplinele științifice cunoscute în acel moment. Mai mult chiar, el propunea o serie de discipline științifice noi, necesare pentru simetria schemei dată de el. Ampère propune termenul de cibernetică pentru acea parte a economiei politice care se ocupă cu arta guvernării. Termenul de cibernetică propus de Ampère, împreună cu alte discipline cu nume ciudate, cade pradă uitării.

Termenul de cibernetică provine de la cuvîntul grecesc *kibernitis* care înseamnă pilot. Din elinul *kibernitis* a luat naștere și cuvîntul românesc *a chivernisi*.

## INFORMAȚIA

Din punct de vedere istoric, cibernetica a apărut datorită necesității de a se înțelege mai amănunțit principiile de conducere și de reglaj automat. În legătură cu aceasta, în ultimii ani ai celui de-al doilea război mondial și în



perioada imediat următoare, s-a descoperit o analogie profundă între funcționarea sistemelor de reglaj automat realizate de tehnică, pe de o parte, și organismele vii, pe de altă parte. În particular, s-a stabilit că în toate sistemele de reglare automată un rol fundamental îl are circulația și prelucrarea informației. Au apărut, așadar, conceptul nou, de *informație*, precum și faptul că se poate măsura cantitatea de informație purtată de un mesaj, ajungându-se astfel la dezvoltarea teoriei informației sub forma unei discipline matematice independente.

Dar, în același timp, în perioada respectivă s-a realizat o dezvoltare considerabilă a unei ramuri de seamă a electronicii aplicate: este vorba de dezvoltarea unei noi ramuri a tehnicii electronice, și anume de calculatoarele electronice.

Dar cu aceasta am și scos în evidență principalele ramuri ale ciberneticii: teoria informației, calculatoarele electronice și teoria reglării automate. Fiecare din aceste direcții de cercetare științifică se caracterizează în momentul de față atât printr-o teorie matematică foarte dezvoltată, cât și prin rezultate dintre cele mai însemnate în ceea ce privește aplicațiile lor practice.

În ultimul timp, datorită în special dezvoltării sistemelor de telecomunicații, pe de o parte, și calculatoarelor electronice, pe de altă parte, s-a creat un tip nou de mașini, complet diferit de celelalte tipuri, și care se ocupă cu producerea, transmiterea, prelucrarea și conservarea informației.

În prezent s-a ajuns la concluzia că noțiunea de informație este la fel de generală ca și aceea de energie. Tocmai de aceea se poate vorbi de apariția unei noi categorii de mașini — mașinile informaționale — care produc, transmit, prelucrează și conservă informația.

Informația se transmite totdeauna pe un suport material, neputînd exista în afara proceselor materiale. Ea este indisolubil legată de materie.

## CALCULATOARELE ELECTRONICE

Dintre mașinile informaționale, în momentul de față o importanță cu totul deosebită o au *calculatoarele electronice*. Se poate spune că unul dintre principalii factori care va determina dezvoltarea științelor exacte și aplicațiile lor tehnice în următorii zece ani este aplicarea matematicii moderne, legată de calculatoare.

Cu ajutorul metodelor analizei matematice clasice nu se putea rezolva comod decît un număr limitat de probleme relativ simple din diversele domenii ale științei și tehnicii. Aceasta deoarece pentru cazurile mai complicate, care de altminteri corespund practicii, analiza matematică nu putea pune la dispoziția cercetătorilor un instrument adecvat; cel mult ea dădea indicații generale privind existența soluțiilor și la metodica prin care ele puteau fi



obținute la sfârșitul unor calcule laborioase ce nu puteau fi efectuate ușor cu mijloacele tehnice existente în acel moment.

În ultimii 20 de ani însă, situația s-a schimbat radical datorită apariției *calculatoarelor electronice rapide*.

Tocmai datorită faptului că aceste calculatoare electronice au un rol deosebit de important se va insista asupra principalelor lor aplicații, fără a se intra în detalii de strictă specialitate referitoare la construcția lor. Totuși, unele cunoștințe generale sînt absolut necesare chiar pentru cercuri largi de nespecialiști, deoarece calculatoarele au tot mai numeroase aplicații în cele mai diferite domenii de activitate.

Calculatoarele electronice actuale se caracterizează prin faptul că utilizează mijloace electronice pentru efectuarea diverselor operații. Mașinile matematice sînt însă relativ vechi. În antichitatea romană, pentru efectuarea calculelor se utilizau pietricele. De la termenul latin *calculi*, care înseamnă pietricele, provine și termenul modern de calcul.

În orînduirea feudală, mult timp nu s-a realizat nici un progres important în ceea ce privește tehnica efectuării calculelor, deoarece nu exista o necesitate economică în această privință. Prima mașină aritmetică în accepția modernă a cuvîntului a fost inventată de către cunoscutul matematician francez Blaise Pascal în jurul anului 1642, pe cînd era în vîrstă de 18 ani. Mașina lui Pascal era formată în esență din mai multe roți care se angrenau unele cu altele. Fiecare roată avea o parte centrală cu zece dinți, iar în dreptul fiecărui dinte era scrisă o cifră de la 0 la 9. Cu ajutorul acestei mașini simple, Pascal a reușit să mecanizeze efectuarea adunărilor și scăderilor. Prin repetarea adunărilor, el reușea să facă înmulțiri, iar prin repetarea scăderilor putea să facă și împărțiri.

Ceva mai tîrziu, cunoscutul filozof și matematician Leibniz, care împarte cu Newton gloria de a fi inventat calculul infinitesimal, s-a ocupat și el de mașini matematice, inventînd o mașină cu ajutorul căreia se puteau efectua mai simplu înmulțiri și împărțiri.

Dar mașinile matematice au cunoscut o dezvoltare relativ mare abia în epoca de avînt a burgheziei. Sfîrșitul secolului al XIX-lea și începutul secolului al XX-lea se caracterizează prin apariția unor principii noi în construcția calculatoarelor. Astfel, încep să se utilizeze dispozitive electromecanice în interiorul calculatoarelor, tinzîndu-se totodată din ce în ce mai mult spre automatizarea efectuării calculelor.

Primul dispozitiv electromecanic utilizat în calculatoare a fost releul electromecanic — un dispozitiv format dintr-un bobinaj și o armătură. Atunci cînd bobinajul este parcurs de un curent cu o intensitate suficientă, armătura este atrasă, putînd închide și deschide o serie de contacte electrice. Datorită releelor, prin simpla apăsare a unor butoane, sau prin simpla închidere a unor contacte electrice se pot transmite comenzile în interiorul calculatorului. Aceste comenzi corespund introducerii unor numere în mașină sau efectuării unor operații matematice între aceste numere.

Mașinile electromecanice sînt astăzi foarte răspîndite. La noi în țară, în fiecare unitate comercială mai mare se întîlnește la casă un mic calculator



electromecanic. Atunci cînd casiera apasă pe clapele mașinii (în termeni tehnici clapele se numesc taste), în interiorul mașinii se transmit anumite semnale care, în cele din urmă, fac să se imprime un bon pe care se pot citi următoarele: suma de bani achitată, numărul raionului de la care urmează să se cumpere marfa, numărul bonului, simbolul unității și uneori chiar și data. În afară de aceasta, calculatorul imprimă suma plătită pe o a doua bandă de hîrtie, dispusă în interiorul mașinii, și în același timp totalizează pe raioane sumele achitate.

Cu alte cuvinte, sîntem în prezența unei mici mașini contabile care ușurează foarte mult munca. În ultimul timp, în anumite unități au fost introduse mașini mai perfecționate care efectuează și totaluri parțiale pentru fiecare cumpărător. Astfel, atunci cînd un cumpărător dorește să cumpere mai multe produse, casiera înregistrează suma corespunzătoare fiecărui obiect. La urmă, apăsînd pe o clapă specială, mașina efectuează singură totalul și îl imprimă pe bon.

În centralele ministerelor sau ale marilor întreprinderi industriale, unde se efectuează un volum foarte mare de calcule contabile, aceste mașini nu mai sînt corespunzătoare.

În momentul de față sînt larg răspîndite calculatoarele cu cartele perforate, numite uneori și mașini analitice. Aceste mașini nu mai au claviatura cu taste, deservită de un operator, ci un dispozitiv special care citește numerele prezentate sub forma unor perforații practicate într-o bucată de carton, de dimensiuni aproximativ egale cu cele ale unei cărți poștale obișnuite. Aceste perforații se practică după un anumit cod, în așa fel încît o anumită combinație a perforațiilor corespunde cu un anumit număr.

În general, pentru fiecare bon din bonierul unei magazii sau al unei gestiuni se realizează o cartelă perforată. Aceste cartele sînt citite foarte rapid, mașina prelucrînd apoi informația cuprinsă în bonuri într-un mod dinainte specificat. Astfel, de exemplu, se poate urmări numai contul privind o anumită piesă sau, dimpotrivă, se pot urmări toate piesele intrate în cursul unei zile într-un anumit atelier.

Aceste mașini prezintă avantajul că au o viteză foarte mare de lucru și, în același timp, operațiile sînt în parte automatizate. Astfel, dacă într-o zi în magazie a intrat o cantitate de 2 kg dintr-un anumit material care costă 15,50 lei/kg, atunci mașina poate să efectueze singură înmulțirea dintre 2 și 15,50, trecînd singură în contul respectiv suma de 31 de lei.

Actualele mașini contabile au însă o posibilitate limitată în ceea ce privește automatizarea calculelor. Viteza lor de lucru este în general mare, unele dintre ele putînd să prelucereze într-o singură oră informația cuprinsă în zeci de mii de cartele. Totuși, ea nu corespunde ritmului actual de dezvoltare a vieții economice, științifice și tehnice. De aceea în jurul anului 1942 s-a trecut la realizarea unor calculatoare electronice.

La acestea nu se mai întîlnesc piese mecanice mobile, deoarece totul se bazează pe prelucrarea unor semnale electrice. Spre deosebire de calculatoarele



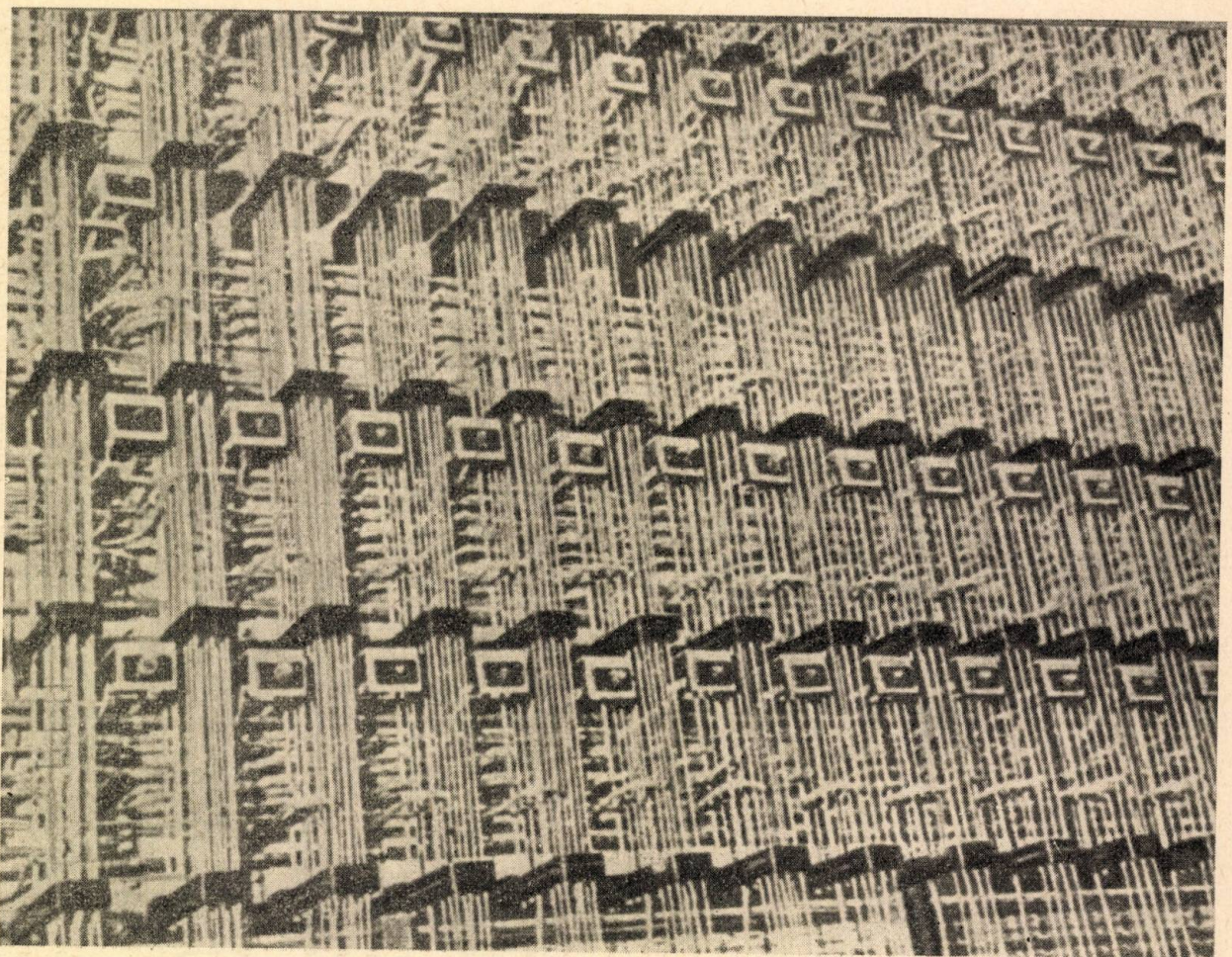


Fig. 1. Interiorul unei mașini electronice de calcul.



electromecanice, calculatoarele electronice sînt constituite numai din dispozitive electronice de circuit (fig. 1): tuburi electronice, tranzistoare, rezistențe etc. Doar la intrarea și la ieșirea calculatorului există, eventual, părți mecanice, care asigură introducerea datelor în mașină și extragerea lor din calculator.

În timp ce primele calculatoare electronice erau capabile ca într-o singură secundă să efectueze cîteva sute sau chiar mii de operații matematice elementare (adunare, scădere), între numere avînd fiecare cîte zece cifre, treptat această viteză s-a mărit considerabil. În momentul de față există calculatoare care într-o singură secundă pot efectua pînă la 1 000 000 de operații matematice, iar în laboratoare se cercetează posibilitatea de a se mări această viteză de lucru încă de 1 000 de ori. Cu alte cuvinte se tinde către realizarea unor calculatoare capabile să efectueze pînă la un miliard de operații pe secundă.

## CALCULATOARE ANALOGICE

Alături de aceste calculatoare care lucrează cu informație numerică, numite uneori și calculatoare digitale sau cifrice, există și un alt tip de calculatoare care funcționează pe un principiu diferit. Este vorba de așa-numitele calculatoare analogice, care sînt, în fond, niște modele.

Ideea modelării fenomenelor nu este nouă. Ea datează de mult timp, de cînd tehnicienii realizau modele la scară redusă pentru a studia proprietățile unor construcții. Astfel au apărut machetele de case sau de cartiere, machetele de avioane care se încearcă în suflerii, machetele de nave care se încearcă în bazine.

Dar, treptat, s-a observat că în natură există fenomene diferite care sînt descrise prin aceleași ecuații matematice, reflectînd unitatea materială a lumii<sup>1</sup>. Pe baza acestei proprietăți s-a trecut la realizarea unor dispozitive electronice a căror funcționare este descrisă printr-un sistem de ecuații identice cu cele care descriu un fenomen ce trebuie studiat. Astfel a devenit posibilă crearea unei tehnici noi, care oferă mari posibilități.

Actualmente, datorită acestei tehnici, pot fi modelate electric și electronic instalații industriale complexe, sisteme de reglaj automat etc. Pe aceste modele se determină cele mai bune condiții în care se pot realiza acele instalații, asigurîndu-se în modul acesta ca proiectul întocmit să conducă la cea mai bună soluție.

---

<sup>1</sup> Vezi V. I. L e n i n, *Opere complete*, vol. 18, ed. a 2-a, Editura Politică, București, 1963, p. 302.



## APLICAȚIILE CALCULATOARELOR ELECTRONICE

În țara noastră se acordă o mare importanță calculatoarelor electronice. În raportul C.C. al P.M.R. prezentat de tovarășul Gheorghe Gheorghiu-Dej la Congresul al III-lea al partidului, se arată că la noi în țară „va începe folosirea mașinilor electronice de calcul și a altor sisteme de programare electronică pentru automatizarea complexă a unor procese de producție la rafinării, instalații ale industriei chimice, precum și automatizarea unor lucrări de calcule economice și de statistică”<sup>1</sup>.

Sintem prima țară de democrație populară în care s-a pus în funcțiune un calculator digital, proiectat și realizat cu mijloace proprii, căruia i-au urmat și alte calculatoare digitale.

De asemenea s-au construit și pus în funcțiune și calculatoare analogice în mai multe centre din țară.

Pentru formarea cadrelor de specialiști în domeniul calculatoarelor, în planurile de învățământ ale unor facultăți s-au introdus materii privind construcția și exploatarea calculatoarelor electronice.

Cu ajutorul acestor calculatoare se poate realiza funcționarea automată a unor instalații complexe, și în momentul de față se poate trece chiar la funcționarea automată a unor mari întreprinderi chimice. O experiență extrem de interesantă în acest sens o constituie conducerea de la distanță a Combinatului de produse chimice de la Slaviansk, localitate situată în Bazinul Donețului. Acest combinat chimic a fost condus de la distanță timp de 48 de ore de către un calculator electronic situat la Kiev. Fiind o experiență neobișnuită, vom da unele explicații suplimentare.

În fiecare întreprindere chimică trebuie să se asigure în permanență realizarea unui anumit proces tehnologic, prin care, indiferent de variațiile accidentale ale compoziției materiei prime, produsele finale au aceleași constante caracteristice. De exemplu, la o rafinărie chimică, produsele finale trebuie să-și mențină aceleași caracteristici, indiferent de compoziția chimică a petrolului care vine la intrare și care provine din diverse sonde petroliere. La fel, la o uzină sodică, produsele finale trebuie să aibă aceleași caracteristici, indiferent de variațiile accidentale ale concentrației saramurii care vine prin conducte, indiferent de presiunea aburilor din diferite puncte etc.

La întreprinderile chimice obișnuite, aceasta se asigură de către numeroși operatori, care urmăresc indicațiile unor aparate. În momentul în care o indicație diferă de valoarea prestabilită, operatorul intervine, modificând unul din parametrii instalației. În general însă nu este ușor ca întregul grup de operatori să lucreze corect pentru a menține funcționarea întregului proces în condiții optime, deoarece aceasta presupune, în fiecare moment, rezolvarea unui sistem complicat de ecuații, manevrele operatorilor trebuind să urmărească soluțiile acestor ecuații.

<sup>1</sup> G. h. G h e o r g h i u - D e j, *Articole și cuvântări, 1959—1961*, Editura Politică București, 1961, p. 151.



O scurtă explicație este necesară.

Fenomenele care au loc în instalațiile chimice sînt descrise printr-un sistem de ecuații matematice complicate. Modificarea unuia dintre parametri are repercusiuni multiple, iar operatorului nu i se poate cere să rezolve în fiecare moment un sistem de ecuații complexe. De cele mai multe ori el intervine bazat mai mult pe experiența sa în reglarea procesului pe care îl conduce.

Se poate însă imagina cu ușurință o uzină complet automatizată, în care aparatele obișnuite de măsură sînt înlocuite prin dispozitive electronice care transformă direct mărimea de măsurat într-o serie de semnale electrice. Aceste semnale se transmit apoi la un calculator electronic rapid, care rezolvă practic, instantaneu, sistemul respectiv de ecuații; rezultatul, sub forma altor semnale electrice, se transmite la elementele de acționare.

Tocmai această posibilitate de a se asigura în permanență funcționarea optimă a instalațiilor constituie un avantaj important al introducerii calculatoarelor electronice în automatizări. Sistemele automate cărora li se asigură o funcționare optimă se numesc sisteme optime. În momentul de față, tendința care se observă este de a se asigura funcționarea optimă a tot mai numeroase instalații industriale. Desigur că introducerea calculatoarelor mărește prețul de cost al instalației, dar prin aceasta se mărește și randamentul întregii instalații, astfel încît, în general, în decurs de cîteva luni se reușește a se amortiza investiția făcută.

Calculatoarele electronice se întrebuintează și în industria prelucrătoare.

În mod obișnuit, pentru a se executa o piesă este necesar să se dea în primul rînd o temă de proiectare. Pe baza acestei teme și utilizînd o serie de formule cunoscute, un inginer stabilește dimensiunile principale ale piesei. Cu ajutorul acestor dimensiuni principale el face o schiță a piesei. După aceea proiectantul face un desen mai îngrijit, pe care desenatorul îl execută pe hîrtie de calc. Se efectuează la heliograf mai multe copii pe hîrtie ozalid și, pe baza acestora, muncitorul execută piesa dorită dintr-o bucată de metal brut.

Să presupunem că este necesar ca piesa respectivă să fie executată la strung. După ce executantul o fixează la strung, el dă drumul motoarelor și începe așchierea piesei. Din timp în timp muncitorul oprește strungul pentru a verifica dacă dimensiunea la care s-a ajuns este cea corectă. Dacă, din greșeală, s-a așchiat prea mult din material, piesa devine un rebut.

Cibernetica oferă însă și aici posibilități complet diferite. Noul procedeu constă în a lăsa întreaga grijă a proiectării pe seama unui calculator electronic. Datele de proiectare sînt introduse în calculator, care aplică singur formulele de bază și calculează toate dimensiunile piesei și racordările între diferitele porțiuni de curbă care au fost calculate.

Calculează chiar și un program detaliat pe baza căruia motoarele sînt acționate la mașina-unealtă pentru ca ea să producă piesa cerută. În cele din urmă, programul este înregistrat pe o bandă perforată sau pe o bandă de magnetofon. Banda este apoi introdusă în dispozitivul de citire al mașinii-unealtă, care execută piesa cu o mare precizie.



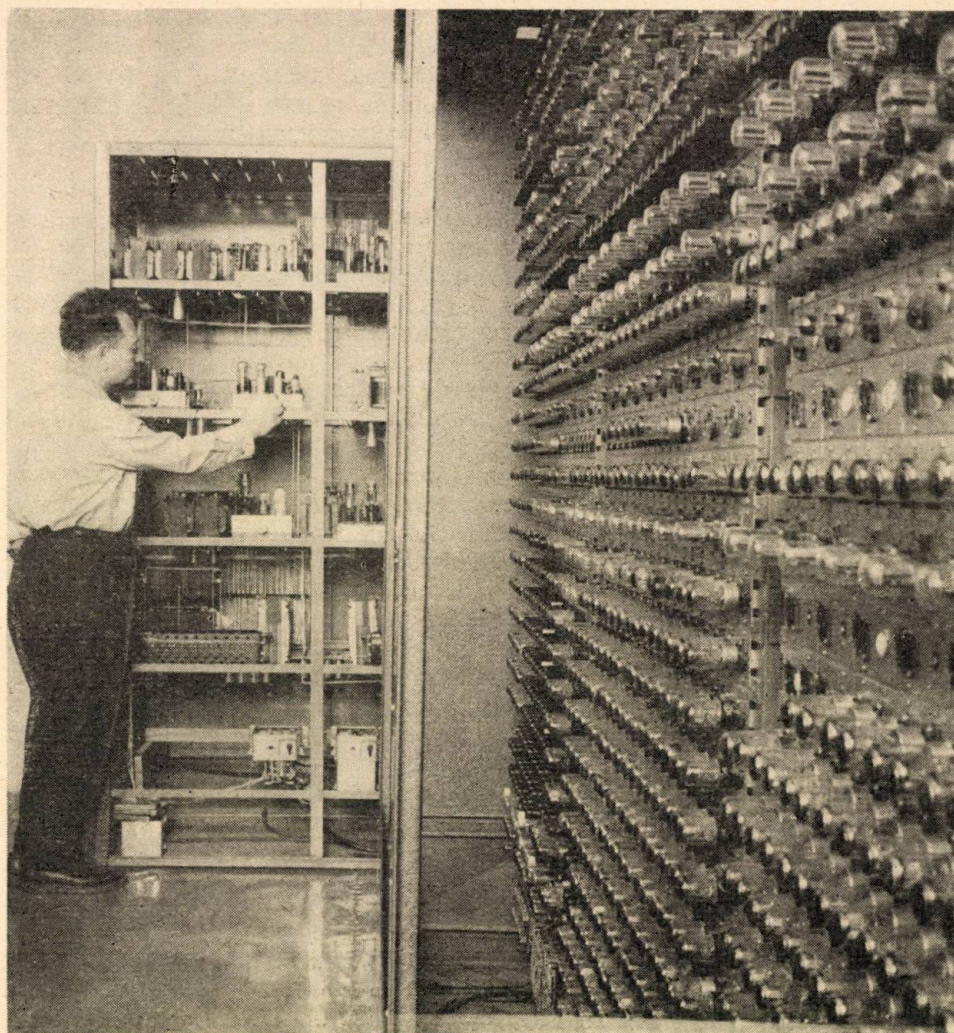


Fig. 2. Mașina electronică de calcul MECIPT-1, folosită atât în cercetările teoretice cât și în practica industrială.

Experiențele efectuate în această direcție, atât în străinătate, cât și în țara noastră, arată că este posibil să se asigure o precizie de ordinul micronilor și, în același timp, o productivitate a mașinilor-unelte de câteva ori mai mare decât aceea a unui muncitor de înaltă calificare.

Calculatoarele electronice se întrebuintează astăzi cu succes și pentru automatizarea altor domenii de activitate. Ele pătrund tot mai mult în auto-



matizarea unor activități intelectuale care înainte erau rezervate numai oamenilor.

În această privință, un rol de seamă îl joacă traduceri automate dintr-o limbă în alta, sau, după cum se mai numesc, *traduceri mecanice*. Ideea efectuării traducerilor cu ajutorul mașinilor nu este nouă; primele experiențe în această direcție au fost efectuate în 1954.

Abia prin dezvoltarea calculatoarelor electronice s-au făcut însă progrese reale în această direcție. În momentul de față, calculatoarele electronice pot să fie programate pentru a efectua traduceri dintr-o limbă într-alta. La noi în țară, primele experiențe în această direcție s-au efectuat în primăvara anului 1962 la Timișoara cu calculatorul MECIPT-1 (fig. 2). Faptul că s-a reușit să se efectueze traduceri automate din limba engleză în limba română cu ajutorul unui calculator proiectat și realizat la noi în țară și pe baza unui algoritm de traducere elaborat de asemenea la noi în țară este o dovadă a marelui avânt pe care știința și tehnica l-au luat în anii regimului de democrație populară.

În legătură cu traduceri automate, menționăm faptul că în ultimul timp la noi în țară s-au efectuat numeroase cercetări de lingvistică matematică, unele referindu-se la aplicarea teoriei informației în lingvistică (Edm. Nicolau), altele la aspectele algebrice ale lingvisticii, la „modelele algebrice de limbă” (S. Marcus), și altele la așa-numita microgramatică și la o inventariere a tuturor aspectelor gramaticii limbii române (acad. Gr. C. Moisil).

Calculatoarele electronice aduc un sprijin deosebit de important și în munca de planificare. Rezolvarea diferitelor probleme economice privind planificarea transporturilor, planificarea investițiilor etc. se făcea pe baza experienței pe care o aveau lucrătorii din planificare. Se poate spune că lipsea un criteriu științific cu ajutorul căruia să se obțină cea mai bună soluție privind, de exemplu, o anumită problemă de transport. Dar, în ultimii ani, matematicienii au reușit să stabilească o metodă cu ajutorul căreia se asigură și determinarea acestui optim. Este vorba de așa-numita *programare liniară*, ca și de *programarea dinamică*.

Pentru a fixa ideile este indicat să considerăm un exemplu concret.

La sfârșitul campaniei de recoltare, sfecla de zahăr se găsește concentrată în câteva centre, de unde urmează să fie transportată la fabricile de zahăr în așa fel, încât acestea să lucreze cu întreaga lor capacitate de producție. Dintre toate variantele existente, una singură corespunde unui minim de cheltuieli legate de transportul pe calea ferată.

O altă problemă importantă care se pune în transporturi, în special în cele feroviare, este stabilirea unei circulații a trenurilor care să asigure în același timp transportul mărfurilor și al pasagerilor în condiții date încât trenurile goale să ruleze cât mai puțin. În particular există anumite porțiuni de traseu unde, datorită rampelor pronunțate, este necesar ca, într-un sens, tracțiunea trenurilor să fie făcută pe două locomotive. La coborîre însă, adică la circulația în sens invers, o singură locomotivă este suficientă. Mult timp, soluțiile adoptate pentru planificarea transporturilor erau semiempirice. Institutul



de calcul din Cluj al Academiei R.P.R., abordînd această problemă a circulației optime a locomotivelor (așa-numitul turnus al locomotivelor) pe anumite porțiuni cu relief accidentat, a reușit să stabilească o variantă net superioară celei utilizate pînă în acel moment, ceea ce se traduce prin economii de circa 20% față de soluția existentă.

Se înțelege cu ușurință că, în economia socialistă, metodele cibernetice de planificare sînt chemate să joace un rol de seamă, deoarece, datorită calculatoarelor cibernetice, se poate asigura întotdeauna o eficiență maximă a investițiilor capitale și, în general, o eficiență maximă a întregii planificări.

Evident că în societatea capitalistă, unde nu poate fi vorba de planificare, nu se pot obține toate avantajele ce decurg din utilizarea calculatoarelor electronice.

În domeniul muncii intelectuale, calculatoarele electronice își găsesc astăzi și alte numeroase întrebuințări. Și la noi în țară s-au realizat o serie de experiențe interesante privind utilizarea aparatelor cibernetice pentru realizarea unor activități intelectuale rezervate înainte numai omului.

De exemplu, la Centrul de calcul al Universității din București s-a abordat armonizarea automată, cu ajutorul calculatorului, a unor teme muzicale. Conf. P. Constantinescu, candidat în științe matematice, a reușit să stabilească un algoritm care rezolvă problema.

Tot la acest Centru de calcul s-a rezolvat și o altă problemă intelectuală privind un joc cunoscut sub numele de „nim”. Jocul utilizează trei grămezi de obiecte, fie ele, de exemplu, trei grămezi de cutii de chibrituri. Cei doi parteneri iau pe rînd obiecte din grămezi. La fiecare mutare se poate lua cel puțin un obiect și cel mult toate obiectele dintr-o singură grămadă. Pierde acel partener care ia ultimul obiect.

Ciberneticienii Centrului de calcul al Universității din București au reușit să stabilească un algoritm pe baza căruia mașina, jucînd contra unui partener uman, cîștigă întotdeauna. Precizăm cu această ocazie că pentru jocul „nim” există o teorie completă care arată succesiunea de mutări pe care trebuie să le facă unul din parteneri pentru a cîștiga în mod sigur. Evident, în astfel de jocuri prima mutare decide soarta jocului, în sensul că, respectîndu-se regulile stabilite de analiza matematică a jocului, se poate ști de la început dacă cel care efectuează prima mutare va cîștiga sau va pierde atunci cînd joacă cu mașina.

Calculatoarele electronice au fost utilizate și pentru rezolvarea altor probleme. De exemplu, un calculator electronic a fost programat ca să analizeze tabelele de numere obținute din experiență pentru a stabili dacă fenomenele experimentate ascultă de anumite legi. Dacă unui astfel de calculator i s-ar prezenta, de exemplu, o serie de date de observație care cuprind perioadele de revoluție ale planetelor în jurul Soarelui și axele mari ale acestor orbite, atunci calculatorul singur „redescoperă” una din legile lui Kepler.

De asemenea se cunosc o serie de experiențe privind calculatoarele electronice programate pentru a juca șah. Trebuie să precizăm că aici nu este vorba de a încărca memoria calculatorului cu o serie de partide analizate în prealabil, urmînd ca acesta să se conducă conform liniei stabilite în altă partidă jucată în prealabil între doi oameni sau, în orice caz, analizată complet de



către un om. Calculatorul analizează singur câteva mutări înainte și din toate variantele posibile o alege pe cea mai bună.

Desigur că numărul de variante posibile este foarte mare. Astfel, numai la deschidere, albul are la dispoziție 20 de mutări posibile, iar negrul tot atâtea, deci numai la prima mutare sînt în total posibile 400 de variante.

Dar, după cum am arătat, calculatoarele au o viteză foarte mare de lucru, astfel încît ele pot să analizeze cu ușurință câteva mutări înainte.

Calculatoarele electronice pot însă rezolva și probleme mult mai dificile. Astfel, unui savant i s-a trimis spre recenzare o teză de doctorat în matematici. Deoarece savantul respectiv nu avea suficient timp la dispoziție pentru a citi singur întreaga lucrare, a programat în acest scop un calculator electronic. Acesta a verificat justetea demonstrațiilor matematice ale teoremelor cuprinse în respectiva teză de doctorat. Iată cum mașinile cibernetice sînt capabile să facă o muncă de cea mai înaltă calificare intelectuală.

## PERSPECTIVE. MAȘINI ELECTRONICE INSTRUIBILE

În legătură cu această problemă se naște în mod firesc întrebarea următoare: care sînt perspectivele pe care le oferă calculatoarele electronice în această direcție?

Trebuie să arătăm că în momentul de față există preocupări intense în ceea ce privește realizarea unor mașini cibernetice capabile să fie instruite. De exemplu, s-au creat mașini care „învață” să recunoască anumite forme. Există mașini care recunosc literele alfabetului, după cum există și mașini care recunosc sunete. Ne aflăm astfel în pragul realizării unor mașini uimitoare, în stare să studieze anumite obiecte pe baza unei memorii magnetice (fig. 3) — fără ca în prealabil să se fi introdus în ele formulele matematice pe baza cărora ele desfășoară activitatea respectivă.

Una dintre cele mai simple probleme este aceea a recunoașterii literelor și cifrelor. S-au creat mașini electronice care pot să recunoască literele chiar atunci cînd ele suferă mici alterări. Cu toții știm că omul poate să recunoască litera A ca atare, chiar atunci cînd este făcută mai mare sau mai mică, cînd liniile sînt mai groase sau mai subțiri sau chiar cînd, în parte, unele linii lipsesc.

Unele Institute de cercetări științifice au elaborat un program pentru un calculator electronic pe baza căruia acesta urma să recunoască cifre. La început s-au efectuat experiențe pentru instruirea mașinilor în vederea recunoașterii a cinci cifre: 0, 1, 2, 3 și 5 (cifra 4 nu a fost folosită, deoarece contururile ei sînt mai complicate). Pentru fiecare cifră s-au pregătit un număr mare de schițe (pînă la 200), în care cifrele respective erau scrise cu caractere diferite. Pentru fiecare cifră au fost utilizate cîte 40 de modele pentru instruirea mașinii, celelalte 160 de modele fiind rezervate verificării mașinii. Cu alte cuvinte, mașinii i s-au arătat 40 de modele ale aceleiași cifre și, în același timp, i s-a comunicat ce cifră este. I s-au arătat apoi celelalte 160 de variante ale aceleiași cifre pe



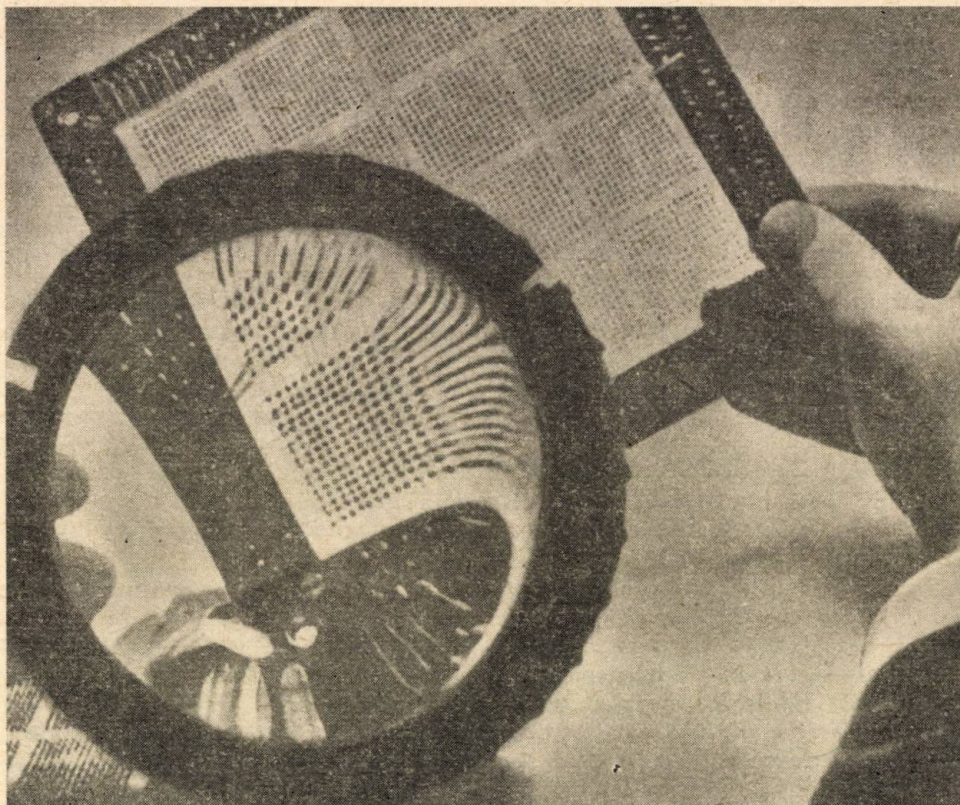


Fig. 3. Dispozitiv de memorie magnetică.

care mașina nu le cunoștea, dar urma să le identifice. Rezultatul a fost deosebit de încurajator: din cele 800 de încercări efectuate, mașina nu a greșit decât în patru cazuri. Ulterior, mașina a fost instruită pentru a recunoaște toate cele zece cifre. Fără nici o îndoială că în această direcție sînt de așteptat rezultate deosebit de interesante.

Și în domeniul recunoașterii sunetelor s-au realizat unele progrese. Astfel, în prezent au fost realizate dispozitive cibernetice capabile să recunoască comenzile verbale. Un asemenea dispozitiv este conectat la un alt aparat cibernetic, care are aspectul unei „broaște electronice“. Atunci cînd în fața microfonului conectat la aparatul de recunoscut sunete se pronunță cuvîntul „înainte“, „broasca“ începe să se deplaseze înainte. Ea este capabilă să reacționeze și la alte comenzi ca: la dreapta, la stînga, stop etc.

La Institutul politehnic din București s-a realizat (Edm. Nicolau, I. Weber și S. Gavăț) un dispozitiv care recunoaște automat vocalele limbii romîne,



aparatură semnalizând care este vocala pronunțată în fața unui microfon. Pentru unele vocale aparatul recunoaște vocala pronunțată indiferent de persoana care o pronunță. Același aparat, modificat în parte, poate funcționa pentru a crea o „vorbire artificială”, în sensul că la comandă produce diferite vocale specifice limbii române. Aceste cercetări sînt în legătură, pe de o parte, cu realizarea unor instalații de telecomunicații de mare eficacitate, iar pe de altă parte cu comandarea verbală a instalațiilor tehnice. Problema recunoașterii automate a sunetelor poate avea numeroase aplicații tehnice, în literatură fiind descrise mașini-unelte comandate verbal.

Recunoașterea automată a sunetelor poate avea însă și alte aplicații.

Gîndul ne duce imediat la o mașină capabilă de a urmări bătăile inimii stabilind cu precizie diagnosticul.

De altminteri, trebuie să menționăm că în prezent s-a și realizat în această direcție un aparat cibernetic deosebit de interesant. Este vorba de un aparat cibernetic care înlocuiește infirmiera ce supraveghează starea unui bolnav. Se știe că nu este ușor să se asigure o supraveghere continuă și atentă a stării unui bolnav, recurgîndu-se numai la un personal sanitar de calificare medie.

Dar, în această direcție, cibernetica ne vine în ajutor prin crearea unui dispozitiv deosebit de interesant. Persoanei ce urmează a fi supravegheată i se conectează doi electrozi, care culeg curenții biologici produși prin activitatea vitală. Acești curenți au o formă bine stabilită în momentul în care organismul evoluează normal. Forma lor se modifică în momentul în care începe o criză. Această modificare poate fi sesizată de către dispozitivele cibernetice chiar înainte de a putea fi observată clinic.

Aparatură cibernetică la care ne referim nu face decît să analizeze forma bio-curenților; atît timp cît forma este normală, nu se întîmplă nimic. În momentul în care forma se alterează, în camera medicului de gardă se dă automat alarma și acesta poate interveni la timp pentru a salva viața bolnavului.

În aceeași ordine de idei amintim că s-au realizat și alte mașini cibernetice care vin în ajutorul celor bolnavi. Printre acestea se numără mașinile de pus diagnostic pe baza simptomelor prezentate, ca și mașinile care clasifică microbii. Ultima problemă a fost rezolvată de un grup de ciberneticieni din București (P. Constantinescu și colaboratorii).

Dar aceste minunate aplicații ale ciberneticii ridică probleme filozofice dintre cele mai pasionante. Desigur că elucidarea esenței procesului de gîndire a fost întotdeauna una dintre cele mai complexe probleme ale gîndirii umane. Mult timp discuțiile în această direcție s-au purtat fără o bază științifică temeinică. În ultimii ani însă, prin apariția ciberneticii, pe de o parte, și a progreselor neurofiziologiei — în special a pavlovismului —, pe de altă parte, s-au realizat progrese importante și în această privință.

De la început trebuie precizat că cibernetica nu pretinde că poate explica toate laturile unor procese atît de complicate cum sînt procesele de gîndire și nici nu încearcă să se substituie altor științe care studiază gîndirea sub aspectele ei biologice și sociale. Cibernetica abordează problema gîndirii din punct de vedere informațional. Cu alte cuvinte, ea încearcă să stabilească regulile după care se prelucurează informația în procesul de gîndire.



Un aspect important al procesului de gîndire este dinamica acestuia. Evident că ne aflăm în fața unui proces complex; totuși, din punct de vedere pur principial, trebuie să admitem că o astfel de problemă este rezolvabilă, în caz contrar situîndu-ne pe pozițiile agnosticismului. În această direcție, primii pași au și fost făcuți. Datorită muncii intense a numeroase grupe de cercetători, s-a „inițiat” înțelegerea proceselor informaționale care au loc atît la nivelul neuronului, cît și al unor rețele simple formate din puțini neuroni.

O problemă care trebuie analizată este și aceea a raporturilor existente din punct de vedere cibernetic între mașina de calculat și creierul omului. Există o serie de teze neștiințifice ale unor pseudosavanți burghezi care susțin că mașinile electronice de calculat sînt niște creieri uriași. De la început însă trebuie arătat că o astfel de teză este complet eronată.

Diferențele dintre calculatorul electronic și creierul uman sînt profunde atît din punct de vedere calitativ, cît și din punct de vedere cantitativ. Să începem cu aspectul cantitativ, care este mai ușor de sesizat. Spre deosebire de creierul uman, care este format din circa 15 miliarde de neuroni, cele mai mari calculatoare electronice existente azi sînt formate din cel mult cîteva zeci de mii de tuburi electronice. Deci, chiar dacă am indentifica fiecare neuron cu cîte un tub electronic, de la început am ajunge la concluzia că creierul uman este cu mult mai complex decît un calculator electronic.

De fapt însă diferențele sînt incomparabil mai mari, deoarece fiecare neuron, departe de a fi atît de simplu ca un tub electronic, este echivalent cu un întreg calculator electronic. Într-adevăr, încercînd să se stabilească schema logică-matematică echivalentă a unui singur neuron, se constată că această schemă trebuie să cuprindă următoarele elemente: un circuit de însumare, mai multe dispozitive de memorie, un dispozitiv de prelucrare a informației care transformă semnalele chimice în semnale electrice modulate în frecvență, sisteme de traducere a mesajelor chimice în mesaje electrice și invers etc. Deci situația se prezintă astfel: calculatoarele electronice nu sînt niște creieri uriași, ci niște creieri pitici.

Dar diferențele dintre calculator și creier sînt mult mai profunde, deoarece nu trebuie uitat un aspect esențial, și anume faptul că creierul uman se dezvoltă în societatea umană. Așa după cum arată clasicii marxism-leninismului, omul este un produs social. Se știe că, dacă un copil crește în afara societății umane, posibilitățile sale intelectuale sînt extrem de reduse. Vorbind metaforic, creierul uman trebuie înțeles ca fiind format din circa 15 miliarde de calculatoare electronice interconectate între ele și care, la rîndul lor, sînt în legătură cu nenumărate alte grupuri, formate fiecare din cîte 15 miliarde de calculatoare. Mai mult chiar, azi încă pot fi utilizate rezultate obținute de grupuri de calculatoare de mult dispărute.

Totuși, între creierul uman și mașinile cibernetice nu există numai diferențe, ci și asemănări. Astfel, calculatoarele sînt capabile să preia o parte din activitățile intelectuale care pot fi formalizate, adică pentru care se pot stabili anumite reguli precise. În această categorie intră, de exemplu, traducerea textelor științifice, ținerea evidenței contabile, rezolvarea problemelor de planificare etc. Este necesar să arătăm că cu ajutorul calculatoarelor se pot efectua



traduceri de texte științifice, dar că nimeni nu se gîndește astăzi ca să automatizeze munca de traducere a unor texte literare, cum ar fi, de exemplu, poeziile lui Eminescu sau tragediile lui Shakespeare.

Mașinile cibernetice nu sînt capabile să gîndească în sensul în care gîndește creierul omenesc, dar mașinile cibernetice rămîn un auxiliar prețios al omului, capabile să funcționeze conform indicațiilor date de către om. Mai mult chiar, aceste calculatoare pot modela anumite procese de gîndire.

Legată însă de această problemă gnoseologică, se ridică și o altă problemă cu implicații practice deosebit de profunde. Este vorba de automatizarea proceselor de gîndire.

După cum s-a arătat mai sus, trecerea de la planificarea și proiectarea obișnuită la planificarea și proiectarea optimală conduce la economii enorme. În același timp însă asistăm la o creștere deosebit de accentuată a volumului de informație prelucrată. Evident că nu se poate merge pe linia utilizării mai departe numai a unui personal calificat pentru efectuarea tuturor calculelor legate de planificare, proiectare, conducerea instalațiilor industriale etc.

Singura cale pe care se poate merge este aceea a automatizării tuturor acestor domenii de activitate.

Astăzi se conturează posibilitatea pe deplin reală de a automatiza obținerea unor construcții deductive complexe în cadrul căutării și demonstrării teoremelor noi și chiar în elaborarea unor teorii noi.

Fără nici o îndoială că încă din momentul de față s-au și făcut primii pași în această direcție, existînd astăzi calculatoare programate pentru a demonstra singure teoreme de geometrie. Precizăm că aceste demonstrații se fac de către mașină prin aplicarea unor procedee apropiate de acelea pe care le folosesc în mod obișnuit matematicienii.

Desigur că în viitor o parte din ce în ce mai mare a muncii științifice va fi efectuată de ajutoarele automate ale omului. Dar, în același timp, este neîndoișor și faptul că aceasta nu va corespunde decît trecerii pe o treaptă superioară a muncii intelectuale a omului. Însăși creația științifică trebuie considerată într-un proces evolutiv dialectic. În momentul de față se întrevade posibilitatea ca o serie întreagă de munci care înainte erau considerate de creație să treacă acum în domeniul muncilor de rutină. Omului i se ridică în față problema, cu mult mai pasionantă, de a crea mașini din ce în ce mai perfecționate, capabile să prelucreză un volum tot mai mare de muncă intelectuală.

Ajunși în acest punct, este necesar să considerăm și cîteva dintre implicațiile sociale ale ciberneticii. După cum s-a arătat, cibernetica are implicații sociale profunde, datorită posibilităților ei de a automatiza cele mai diferite domenii de activitate.

Există astăzi posibilitatea de a se trece la o automatizare totală în sensul automatizării atît a principalelor domenii de activitate în care munca fizică predomină, cît și de automatizare a muncii în domeniul activității intelectuale. Se va ajunge oare la această automatizare totală care ar elibera pe om de povara unor munci grele și de rutină? Răspunsul este diferit după orînduirea socială în care ne situăm.



Într-adevăr, în orînduirea capitalistă, automatizarea totală nu este cu putință, și aceasta dintr-un punct de vedere principal: în momentul în care întreaga producție ar fi automatizată, s-ar ajunge, implicit, la un șomaj total și ar dispărea cumpărătorii bunurilor produse. Cu alte cuvinte, în capitalism automatizarea totală nu se poate realiza.

Cu totul alta este situația în orînduirea socialistă. Aici introducerea automatizării se face pentru ridicarea nivelului de trai al omului, pentru reducerea zilei sale de muncă, pentru ștergerea treptată a diferențelor esențiale dintre munca fizică și cea intelectuală.

În modul acesta, în orînduirea socialistă ziua de lucru va fi din ce în ce mai scurtă și totodată din ce în ce mai bine retribuită. Timpul liber al oamenilor muncii se va mări considerabil, ceea ce va crea condiții suplimentare pentru ridicarea nivelului lor tehnic și cultural. Oamenii muncii vor avea astfel posibilitatea să-și desăvîrșească pregătirea lor profesională și, în același timp, își vor desăvîrși aptitudinile artistice.

Iată dar cum cibernetica își joacă cu succes rolul său social.

În momentul de față, aportul ciberneticii este deosebit de important și fără îndoială că viitoarea societate comunistă va găsi formele și mijloacele de a folosi toate succesele dobîndite de ea pentru înflorirea capacităților fizice și spirituale ale omului, pentru dezvoltarea cît mai completă a tuturor posibilităților pe care le are geniul uman.



# Teoria informației în tehnica comunicațiilor

---

Prof. Univ. S. CONDREA







## CE ESTE TEORIA INFORMAȚIEI

Teoria informației studiază producerea, prelucrarea, transmiterea, recepționarea, acumularea cunoștințelor de orice fel. În sens mai restrâns, prin teoria informației se înțelege numai teoria transmiterii informației, de la sursă la destinatar. Sursa poate fi un creier omenesc, un fenomen natural sau o memorie electronică. Destinatarul poate fi un creier sau o mașină.

Teoria informației are domenii comune cu cibernetica, în sensul că procesele de comandă și de control în mașini și în organisme vii, care formează obiectul de studiu al ciberneticii, au la bază circulația informației. Cibernetica utilizează teoria informației, după cum electronica utilizează legile electricității, dar teoria informației poate servi și pentru alte discipline, ca, de exemplu, pentru radioastronomie, pentru studii lingvistice, pentru televiziune ș.a.

Primele fundamente ale unei teorii generale a transmiterii informației au fost puse de V. A. Kotelnikov în 1933, care a făcut clasificarea generală a semnalelor de comunicații, în discrete și continue, a stabilit unele teoreme de bază pentru transmisii în prezența perturbațiilor și a indicat direcțiile de dezvoltare ale acestei noi științe.

Lucrările lui C.E. Shannon, publicate în anii 1948—1949, au adus o contribuție importantă la dezvoltarea și desăvârșirea teoriei informației. El a introdus noțiunea de *entropie* a informației, prin analogie cu noțiunea cu același nume din termodinamica statistică. O fundamentare matematică mai riguroasă a unor teoreme enunțate de Shannon a fost făcută de matematicianul sovietic A. Ia. Hincin în 1953.

Ca orice știință exactă, teoria informației se ocupă cu cantități și mărimi între care se pot stabili relații precise, matematice. Cu ajutorul acestor relații și a teoremelor fundamentale stabilite, se pot studia comparativ diferitele metode de transmitere a informației, determinându-se metoda optimă, se pot preciza posibilitățile maxime în acest domeniu și căile de acces spre aceste posibilități. Noua știință ne arată cum se face transferul informației în ființele vii de la mediul exterior la creier și de la creier la organele executive. Ea ne arată cum se transmite informația de la fenomenele naturale la omul de știință în cercetarea științifică, de la dispozitivul de programare la dispozitivul de calcul sau memorizare într-o mașină electronică de calcul sau de la studioul de televiziune la ecranul televizorului în problemele de telecomunicații.



## SISTEME DE COMUNICAȚII

Comunicația este legătura prin care se poate transmite o informație dintr-un loc într-altul. Astfel, în telecomunicații, se transmit texte prin legături telegrafice, convorbiri prin legături telefonice, televiziunea prin radio ș.a.m.d. În organismul omenesc există legături de comunicații de la nervii periferici la creier și de la creier la nervii motori care comandă mușchii. În cosmos există comunicații de la corpurile cerești la Pământ (prin unde luminoase sau unde radio) și de la Pământ la corpurile cerești (planete, sateliți artificiali) prin semnale radio.

Cînd legăturile de comunicații sînt organizate de la un centru la altul sau la mai multe, avem ceea ce se numește un sistem de comunicații. Astfel, între două orașe putem avea un sistem de telefonie (cu curenți purtători), prin care se pot stabili simultan un număr de convorbiri (de exemplu 12 sau 24). Între postul de radio-emisiune și abonații de radio ai unei regiuni se stabilesc comunicații unilaterale (într-un singur sens: de la post la abonați), astfel că se poate vorbi despre un sistem de radiocomunicații unilaterale (radiodifuziune). Între creierul unui animal și organele simțului și cele de execuție (musculare) sînt legături de transmitere a știrilor și comenzilor care formează un sistem organic de comunicații.

Un sistem de comunicații face legătura între sursa de informație și primitorul acestei informații. Sursa de informație poate fi un creier uman, o memorie magnetică (de exemplu un text imprimat pe o bandă de magnetofon) sau un fenomen natural (de exemplu o erupție în Soare). Primitorul poate fi un alt creier uman sau o memorie magnetică, dar destinatarul ultim este tot un creier uman. În orice sistem de comunicații, cel puțin unul din cele două elemente interconectate (sursă și primitor) este efectiv sau indirect (ulterior) o minte omenească.

Sistemul de comunicații care transformă și transmite informația este ansamblul de dispozitive, organe și linii care leagă sursa de primitor.

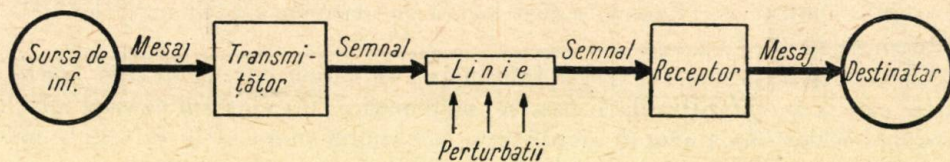


Fig. 1. Sistem de comunicații.

În cazul cel mai simplu, al sistemelor telegrafice, lanțul care leagă sursa dintr-un oraș de primitorul din alt oraș poate fi format din următoarele dispozitive (fig. 1): un aparat telegrafic transmițător, numit teleimprimator, avînd forma unei mașini de scris, un echipament telegrafic de curenți purtători pentru transmisiuni la mare distanță, o linie cu fire aeriene sau un cablu subteran



care leagă cele două orașe, un echipament de curenți purtători de recepție și un alt teleimprimator pentru recepția semnalelor de la distanță.

Sursa este un cetățean care dorește să transmită o informație, concretizată printr-un *mesaj* telegrafic, adică un text scris (se înțelege prin mesaj o informație concretă, destinată unuia sau mai multor primitori care pot s-o înțelege). Mesajul, reprezentat prin simboluri grafice, este transformat de teleimprimator în *semnale* electrice, adică simboluri electrice.

Simbolurile grafice, scrise cu cerneală pe hârtie, reprezintă și conțin „informația” care trebuie transmisă. Semnalele electrice reprezintă de asemenea informația transportată la mare distanță.

În teleimprimator se efectuează de fapt două operații:

1) transformarea simbolurilor grafice în semnale electromecanice (prin apăsarea diferitelor clape corespunzătoare literelor din text) și

2) traducerea acestor semnale în semnale electrice cu cod telegrafic, sau, pe scurt, *codarea* semnalelor. Această traducere a semnalelor inițiale după un anumit cod este necesară pentru ca transmisiunea mesajelor să se facă în condiții bune.

Să luăm un exemplu simplu: doi vecini dintr-o clădire pe care îi desparte un perete au stabilit între ei un sistem de comunicații. Mesajele pe care doresc să le transmită sînt puține la număr, și anume trei: 1) o întrebare (ești acasă?), 2) un răspuns (da!) și 3) vino la mine!

Pentru aceste comunicații au două soluții: sau să strige tare, ca să se audă eventual prin zid, sau să folosească un cod. Prima soluție nu este practică. De aceea ei stabilesc un cod simplu prin ciocănituri în zid. Aici semnalele sînt ciocăniturile, iar codul este corespondența dintre mesaj și numărul sau frecvența ciocăniturilor.

În telegrafie, semnalele, dacă ar trebui să reproducă exact toate nuanțele textului scris — cum este cazul în fototelegrafie —, ar risca să se atenueze prea mult pe liniile lungi și să fie perturbate de „zgomote” electrice. De aceea se

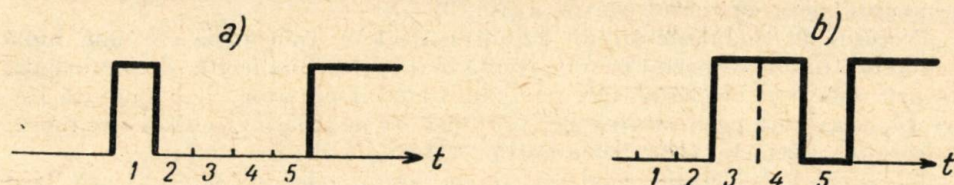


Fig. 2. Cod telegrafic.

a) Litera „a”; b) Litera „b”.

transmite numai mesajul inteligibil, adică sensul cuvintelor, nu și caligrafia lor, iar pentru acest lucru se folosește un cod telegrafic.

Codul telegrafic la teleimprimatoare este format din 5 momente succesive (fig. 2), în care se transmit 1, 2, 3, 4 sau 5 impulsuri de curent într-o combinație oarecare. Astfel, pentru litera *a* se transmite un impuls în momentul 1; pentru litera *b* două impulsuri în momentele 3 și 4 etc. Cu combinații de două situații,



impuls sau pauză, aranjate diferit în cele 5 momente, se pot obține  $2^5 = 32$  de combinații diferite de cod. Acestea formează „alfabetul” telegrafic sau codul pentru literele și semnele ortografice.

Dacă codul este tot cu baza 2 (cod binar), dar combinațiile sînt făcute din 7 momente, se obțin  $2^7 = 128$  de semnale (mesaje elementare) diferite. La rîndul

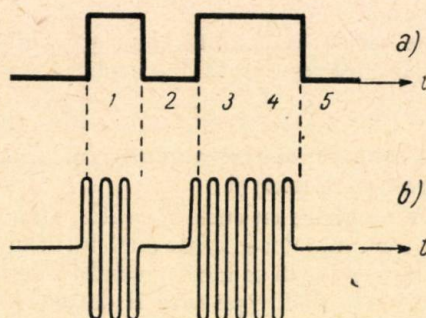


Fig. 3. Modulația semnalului.

a) Semnal telegrafic de curent continuu;  
b) Purtător modulată, de semnal.

lor, aceste semnale (mesaje elementare) se combină după regulile limbii, formînd cuvintele, care reprezintă, sub forma unui cod natural, mesajul inteligibil.

În sistemele de transmisii telegrafice la mare distanță, semnalul codat nu se transmite direct pe linie, ci este preluat de un curent purtător, de o anumită frecvență de oscilație. Această transformare a semnalului de curent întrerupt în semnal de curent purtător întrerupt se numește *modulație*. Curentul purtător este o oscilație electrică, cu un număr mare de oscilații pe fiecare secundă (se spune că are o frecvență mare de oscilație). Modulația lui constă în acest caz în faptul că se întrerupe la anumite intervale, întocmai cum este întrerupt semnalul codat de curent continuu (fig. 3).

Procesul de modulație are un dublu rezultat: a) transmisia este mai bună, semnalul fiind transportat pe o frecvență mai înaltă, mai ferită de perturbații; b) prin asocierea semnalului de un anumit curent purtător, de o anumită frecvență, se asigură posibilitatea de a se transmite pe același circuit și alte mesaje telegrafice distincte, prin alți curenți purtători, de alte frecvențe.

În sistemele telegrafice moderne, pe un circuit telefonic se realizează 24 de comunicații telegrafice în același timp, care nu se amestecă și nu se perturbă reciproc. Pentru separarea acestor 24 de comunicații de pe același circuit se utilizează pentru fiecare un curent purtător deosebit (avînd frecvența de oscilație diferită) și *filtre electrice*, care au proprietatea de a extrage fiecare numai semnalele unei comunicații, adică semnalele conținute într-un singur curent purtător (fig. 4). Deci fiecare comunicație din cele 24 dispune de un teleimpri-mator la emisie, cu un dispozitiv de *codare*, un modulator cu un curent purtător de o anumită frecvență, un filtru de separare la emisie, linia comună pentru cele 24 de comunicații, iar la recepție un filtru de selecție a comunicației respective, un demodulator care extrage semnalul de curent întrerupt din cel



modulat, un teleimprimator de recepție cu dispozitivul de *decodare* și de imprimare, care transformă combinațiile de cod în impulsuri de comandă a imprimării literelor respective.

Lanțul acesta de aparate, filtre, inclusiv cota-parte din linie, necesare pentru realizarea unei comunicații dintre cele 24 se numește *canal*. În sistemele de

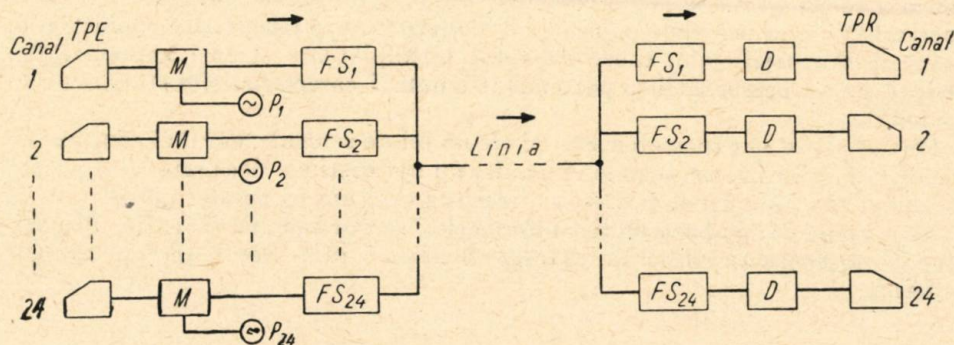


Fig. 4. Sistem telegrafic cu 24 de canale.

*M* — modulator; *FS* — filtre de separare; *D* — demodulator; *TPE* — teleimprimatoare la emisie; *TPR* — teleimprimatoare la recepție.

transmisii telefonice, numărul de canale poate ajunge la câteva sute sau chiar mii (2 700) pe un circuit.

Deci un sistem de comunicații poate avea unul sau mai multe canale de comunicații. Canalul de comunicație, fie că este o instalație tehnică, un mediu natural (atmosfera, ionosfera) sau un organism (sistemul nervos), are anumite limitări care nu permit să se transmită orice informație și nici orice cantitate de informație într-un timp dat. Caracteristicile canalului de comunicație determină natura informației ce poate fi transmisă și viteza maximă posibilă de informare.

Viteza de informare depinde atât de capacitatea canalului de a transmite informația, cât și de codul utilizat pentru traducerea mesajului. În orice caz, oricare ar fi codul, această viteză nu poate depăși limita fixată de capacitatea canalului.

Viteza de informare și fidelitatea transmiterii informației depind de caracteristicile canalului și de codul utilizat. Într-adevăr, dacă atenuarea canalului este foarte mare (perete gros între cei doi vecini), semnalele sînt înăbușite și trebuie, eventual, repetate de mai multe ori pentru a putea fi recepționate. Dacă peretele (canalul de comunicație) prezintă neregularități, care atenuază mai mult unele semnale decît altele sau întîrzie unele semnale față de altele, mesajul poate ajunge distorsionat (deformat), de nerecunoscut și trebuie eventual repetat sau, dacă e posibil, corectat pentru a transmite fidel mesajul emis.

Atenuarea, uniformă sau preferențială, introdusă de canal în calea semnalelor, precum și întîrzierea neuniformă a oscilațiilor de diferite frecvențe sînt



deranjări ale semnalului, care se pot remedia prin dispozitive corectoare instalate la recepție. Este de ajuns să se știe care este exact forma acestor distorsiuni introduse de canal pentru ca să se realizeze la recepție dispozitive corectoare, cu efecte inverse, de compensație.

Dar mai sînt alte deranjări ale transmisiunii care nu pot fi corectate la recepție, din cauză că nu se poate cunoaște dinainte forma lor. Acestea se numesc „perturbații” sau „zgomote” și provin din diferite cauze atmosferice, industriale, naturale sau artificiale, cauze cu totul întîmplătoare și deci neprevizibile. Despre aceste perturbații se pot cunoaște numai caracteristicile statistice sau probabilistice.

Perturbațiile sau zgomotele sînt și ele un fel de semnale, dar fără conținut de mesaj inteligibil. Receptoarele obișnuite nu pot distinge dacă semnalul poartă un mesaj sau un zgomot și de aceea recepția este uneori neinteligibilă.

Vom vedea că, pe baza teoriei informației, se pot concepe și realiza dispozitive de recepție capabile să extragă semnalul util înecat într-un zgomot puternic.

## CANTITATEA DE INFORMAȚIE

Pentru ca legile teoriei informației să fie legi științifice exacte, trebuie să poată fi exprimate prin mărimi matematice. În energetică, diferitele forme de energie se pot măsura și deci exprima printr-un număr ce reprezintă valoarea mărimii respective (tensiunea în volți, puterea în wați sau în cai-putere etc.).

Care este mărimea sau cantitatea măsurabilă în teoria informației? În înțeles subiectiv, o informație scurtă (de exemplu o telegramă despre un eveniment important) poate avea o valoare foarte mare, iar o telegramă lungă, plină de banalități, o valoare neglijabilă. Această apreciere subiectivă depinde de persoana care consideră mesajul și deci nu poate fi luată ca bază pentru evaluarea cantității de informație.

Care este caracterul comun al oricărui mesaj, indiferent de valoarea lui subiectivă? Mesajul aduce un răspuns la o întrebare efectivă sau potențială: două ciocănituri în perete înseamnă că am răspuns: prezent; o telegramă ne anunță că X a reușit la examen. Mesajul transmis prin unde radio de la o radiostea răspunde la întrebarea potențială a astronomului privitor la natura acelei stele.

Cînd întrebarea are numai două răspunsuri posibile (în primele exemple: sînt aici sau nu sînt aici; a trecut sau a căzut la examen), informația obținută — în ipoteza că ambele răspunsuri sînt la fel de probabile — se consideră ca unitate pentru măsurarea cantității de informație.

Așadar, un răspuns efectiv la o întrebare cu două răspunsuri posibile și echi-probabile — de exemplu faptul că un ban aruncat în aer a căzut pe pămînt cu una din cele două fețe posibile în sus — reprezintă o unitate binară de infor-



mație, denumită pe scurt *bit*. De fiecare nouă aruncare a monedei obținem încă un bit de informație, astfel că în timp de un minut de încercări obținem  $N$  biți de informație, egal cu numărul încercărilor efectuate.

Să presupunem că întrebarea are 8 răspunsuri posibile. Atunci evident că informația obținută este mai mare decât un bit. În cazul unui zar cu 8 fețe, pe fiecare fiind imprimat un număr corespunzător de puncte, la o aruncare de zar obținem un răspuns din cele 8 posibile. Pentru a evalua în biți informația obținută, facem următorul raționament: 1) punem mai întâi o întrebare binară dacă va apărea un număr de la 1—4 sau restul de la 5—8; 2) apoi, după ce am primit răspunsul de 1 bit (de exemplu numărul se află în grupa 1—4), punem o nouă întrebare binară, dacă se găsește în grupa 1, 2 sau în grupa 3, 4, la care primim un răspuns de 1 bit (de exemplu se află în grupa 3, 4); în sfârșit, punem ultima întrebare, dacă este 3 sau 4, și obținem ultimul răspuns de 1 bit (de exemplu că este 3). Cantitatea totală de informație la întrebarea integrală (ce număr va apărea din cele 8 posibile) este deci de 3 biți.

Matematic, aceasta se exprimă prin formula entropiei, notată cu  $H$ , și arată că la o întrebare cu 8 răspunsuri posibile, toate la fel de probabile, cantitatea de informație obținută este egală cu logaritmul în baza doi al lui 8, adică este de 3 unități binare de informație (prin unități binare se înțeleg informații elementare, da sau nu, cu 2 posibilități).

Dacă răspunsurile nu sînt la fel de probabile, de exemplu dacă întrebăm prin telefon în care din cele 8 zile următoare corespondentul nostru de la capătul firului va veni să ne viziteze, știind că are interes să vină cît mai repede, vom pune în formula entropiei diferitele valori ale probabilităților și rezultatul calculului va fi un număr mai mic decât 3.

Deci cantitatea de informație maximă a unui răspuns apare atunci cînd diferitele răspunsuri posibile sînt la fel de probabile (echiprobabile).

Să luăm un exemplu mai complex. Primim o telegramă cu un text oarecare. Ce cantitate de informație ne aduce o literă din text, de exemplu prima literă? Dacă telegrama ar fi fost compusă în mod fantezist prin alegerea la întîmplare a unor litere scoase dintr-o urnă cu 32 de litere și semne, probabilitatea apariției oricărei litere ar fi aceeași, anume  $p = 1/32$ . Cantitatea de informație la întrebarea: care este prima literă din textul telegramei? ar fi în acest caz:

$$H = 5 \text{ unități binare de informație (biți).}$$

În realitate însă, literele și semnele alfabetului nu sînt la fel de probabile. Nu este de loc probabil ca într-o telegramă în limba română să se înceapă textul de exemplu cu semnul mirării și este puțin probabil să înceapă cu litera X.

Din statistica multor sute și mii de telegrame se poate determina care sînt probabilitățile pentru fiecare literă și semn grafic de a fi primul semn din telegramă. Se poate găsi de exemplu că litera  $a$  va avea probabilitatea  $p_1 = 0,60$  (adică din 100 începuturi de telegramă este probabil că numai 60 vor fi  $a$ ), litera  $b$  probabilitatea  $p_2 = 0,40$  (adică din 100 începuturi este probabil că



numai 40 vor fi *b*) ș.a.m.d., iar semnele ortografice (!? etc.) vor avea probabilitatea zero ca să apară la început.

Punînd aceste valori statistice (care vor fi cu atît mai exacte cu cît s-au cercetat mai multe sute de telegrame) în formula a doua, se va obține o cantitate de informație mai mică de 5, de exemplu 4.

Care este cantitatea de informație adusă de primul cuvînt din textul telegramei? Dacă toate cuvintele unei limbi ar avea aceeași probabilitate să apară la începutul telegramei, informația ar fi egală cu logaritmul în baza 2 al numărului total de cuvinte posibile. Dar și aici avem diferite probabilități, pe care le putem calcula din statistica telegramelor, și astfel vom obține cu formula lui *H* cantitatea de informație a primului cuvînt din text.

În sfîrșit, textul întreg este un răspuns dintr-un număr foarte mare de răspunsuri posibile. Acest răspuns este format din combinații și grupări de litere și semne, alese din cele 32 semne ale alfabetului și ortografiei limbii romîne. Dar nu toate combinațiile sînt la fel de probabile. Unele din ele, de exemplu cele în care avem o succesiune de mai multe litere identice (ttt, bbb, aaa etc.) se pot considera că au o probabilitate zero de apariție într-un text clar.

Cantitatea de informație a întregii telegrame se poate calcula, cel puțin în teorie, în mai multe moduri. Se poate aplica formula lui *H* pentru toată telegrama, luîndu-se toate textele posibile cu probabilitățile lor respective. Sau se calculează informația adusă de fiecare cuvînt în parte, adunîndu-se apoi aceste cantități pentru întregul text. Dar în acest caz trebuie să se țină seama de probabilitatea ca al doilea cuvînt să apară după ce a apărut primul, al treilea cuvînt să apară după ce au apărut primele două ș.a.m.d. Acestea sînt așa-numitele probabilități condiționate.

În sfîrșit, informația totală se mai poate calcula din însumarea informațiilor aduse pe rînd de literele și semnele ce se succedă în text. Și aici trebuie să se țină seama de probabilitățile condiționate, de apariție a unor litere după altele (astfel nu e posibil de loc ca după *t* să apară *p* și este mult mai probabil un *r* sau o vocală).

Dacă se calculează din statistici telegrafice numărul de texte diferite posibile (într-o anumită limbă) și se consideră numărul mediu de litere pe o telegramă (de asemenea statistic), se poate calcula cantitatea de informație conținută în medie într-o literă de telegramă.

Notînd cu *M* numărul total de texte posibile într-o telegramă și cu *N* numărul mediu de litere pe o telegramă, se poate calcula, cu o formulă simplă, cantitatea medie de informație pe literă, cantitate numită *entropia pe literă* a telegramelor. Calculul se face astfel: se ia numărul total *M* de texte posibile, se împarte la numărul mediu *N* de litere pe telegramă și rezultatului *i* se aplică logaritmul în baza 2.

Dacă se iau texte obișnuite din publicații, se poate obține *entropia* pe literă a limbii respective. Astfel s-a calculat că entropia limbii engleze este cuprinsă între 0,6 și 1,3 biți/literă, iar a limbii romîne este de același ordin de mărime.



## REDUNDANȚA ȘI ZGOMOTUL

Cînd întrebăm pe cineva cît este ceasul, răspunsul poate fi scurt: „Treii!“ sau mai lung: „Acum este ora 3 după-amiază!“. Evident că ambele răspunsuri conțin aceeași cantitate de informație utilă, dar mesajul al doilea are multe cuvinte de prisos, adică are „redundanță“.

În telegrame se caută să se elimine redundanța (abundența) de cuvinte, folosindu-se așa-zisul stil telegrafic.

O redundanță foarte mare este conținută în semnalul video, care transmite mesajul de televiziune. Aceasta este o risipă uriașă de mijloace tehnice, care însă nu se poate evita cu metodele actuale. Să precizăm.

O imagine animată de televiziune este formată din succesiunea rapidă (25 pe secundă) a unor imagini instantanee ale scenei televizate. Fiecare imagine instantanee este formată dintr-un număr mare de puncte, explorate în tubul videocaptor și desfășurate în cinescop, la fel cum ochiul urmărește la citit literele și rîndurile unui text. Dacă pe o pagină sînt aproximativ 2 000 de litere, pe o imagine de televiziune sînt aproximativ 400 000 de puncte de imagine (așa cum sînt, de exemplu, pe o fotografie de ziar).

Cele 2 000 de litere și semne pot avea diferite forme, una din cele 32 de semne posibile într-un text. Cele 400 000 de puncte de imagine pot avea diferite intensități luminoase (între alb și negru), numărul gradațiilor de intensitate ce le poate distinge ochiul fiind aproximativ 64. Deci avem 64 „litere“ de intensități, înșirate pe 625 de linii, în 400 000 de puncte succesive.

Cîte imagini diferite sînt posibile cu aceste 64 de „litere“ combinate cîte 400 000 într-un cadru? Numărul imaginilor posibile este fantastic de mare: 64 la puterea 400 000, ceea ce reprezintă, în scrierea zecimală, un număr cu aproape un milion de zerouri! Dar din acest număr fantastic numai o parte relativ mică reprezintă imagini de informație, restul fiind imagini de „zgomot“, adică forme și grupări neregulate de puncte luminoase, care nu spun nimic.

Cantitatea de informație cuprinsă într-o imagine instantanee va fi deci cu atît mai mare, cu cît numărul posibil de imagini de informație este mai mare. Dacă un cadru de televiziune ar avea numai 2 puncte de imagine în loc de 400 000, numărul de imagini posibile ar fi  $64^2 = 4\,096$ , dintre care poate mai puțin de jumătate ar fi cu conținut de informație, restul fiind „zgomot“.

Să presupunem, pentru comparație, că imaginea de televiziune (fig. 5) are 2 000 de puncte (cîte litere are o pagină de text) și numărul nuanțelor de alb-cenușiu-negru este 32 (cîte litere și semne diferite poate avea textul). Știind că entropia unui text scris este de aproximativ 1 bit pe literă, să presupunem că entropia unui punct de imagine este de același ordin de mărime. Aceasta este plauzibil, deoarece 1 bit reprezintă o incertitudine (sau o probabilitate) de  $1/2$  cînd trecem de la un punct la cel următor, adică tocmai întrebarea dacă punctul următor va fi mai întunecat sau mai luminos decît precedentul.

Prin urmare, o astfel de imagine instantanee va conține în total o informație de aproximativ 2 000 de biți, iar debitul de informație furnizat de semnalul video va fi de  $25 \times 2\,000 = 50\,000$  de biți pe secundă.



Se pune întrebarea: este nevoie într-adevăr de această întreagă cantitate de informație pentru cei care vizionează scena la televizor?

La lectura unui text, presupunind că se citește cu o viteză de 10 litere pe secundă, cantitatea de informație percepută de creier va fi de 10 biți pe secundă (în realitate este mai puțin). La vizionarea imaginilor, naturale sau transmise,

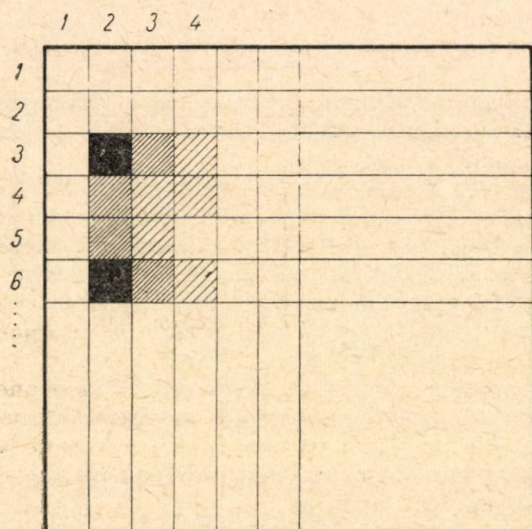


Fig. 5. Schema imaginii de televiziune.

viteza de percepere nu poate fi mult mai mare decât această cifră. Restul, pînă la 50 000 de biți pe secundă cît conține semnalul video, simplificat la extrem, este deci pură redundanță.

De unde apare această risipă uriașă de semnale? Din faptul că tehnica actuală a televiziunii este bazată pe explorarea imaginii punct cu punct, iar informația este conținută nu în puncte, ci în forme și nuanțe. Se transmit inutil prea multe detalii, pe care ochiul nu le percepe și nu le cuprinde în imagine. Astfel, pe o figură sînt suprafețe pe care ochiul le percepe uniforme și ar fi suficient să se transmită numai un semnal, răspunzînd la nuanța generală a acelei suprafețe, în loc de multe sute sau mii de puncte, de nuanțe imperceptibil de diferite.

Teoria informației, prin calculul entropiei semnalelor și a mesajelor, a scos la iveală această diferență uriașă între mijloacele utilizate (risipite) și rezultatele obținute, dînd în același timp indicații în ce direcție se poate găsi o soluție mai practică. S-au făcut numeroase încercări și studii pentru reducerea numărului de semnale elementare pe secundă, adică pentru reducerea frecvențelor maxime de oscilații necesare în transmisii de televiziune. O astfel de reducere ar permite răspîndirea televiziunii și aplicarea ei în legăturile telefonice obișnuite pentru obținerea videotelefonului la abonați.



## UNELE APLICAȚII ALE TEORIEI INFORMAȚIEI

Teoria informației este încă o știință tânără. Importanța ei constă în primul rînd în faptul că a aruncat o lumină nouă asupra proceselor de informare, de control și de comunicații. Ea a deschis perspective noi în dezvoltarea rapidă a unor discipline moderne, ca telecomunicațiile, telemecanica, radioastronomia, transmiterea și prelucrarea datelor, recunoașterea automată a unor forme de exprimare umană ș.a.

Vom menționa în cele ce urmează unele din aplicațiile mai interesante ale teoriei informației. După cum se știe, transmisiunea imaginilor de televiziune la mare distanță necesită mijloace tehnice mult mai numeroase și mai complicate decît transmisia convorbirilor telefonice. De aceea nu s-a realizat mult timp, și nu s-a răspîndit televiziunea între abonații telefonici. În ultimul timp, după cum s-a aflat din presă, s-au realizat primele legături de mare distanță prin *videotelefon*, în Europa, între orașele Odesa—Kiev—Moscova și Leningrad, iar în America între New York și San Francisco. Aceasta a devenit posibil prin aplicarea teoriei informației la semnalul video.

Studiindu-se structura statistică a imaginilor de televiziune în acest caz particular (întrevederea între doi convorbitori), s-au obținut rezultate interesante, și anume: semnalele video obținute de la aceste imagini sînt formate dintr-un număr mai mic de oscilații componente decît numărul oscilațiilor provenite de la alte imagini, iar anumite detalii neesențiale (redundanță) ale imaginii pot fi suprimate fără pierdere. În consecință, s-a adaptat canalul de transmitere — prin cablul coaxial — la această structură a semnalului video, obținîndu-se astfel un sistem de comunicații de bună calitate.

O altă aplicație interesantă este radiocomunicația la distanțe mari prin propagarea undelor radio pe căi ocolite, și anume prin reflexii multiple în troposferă, în ionosferă sau chiar pe urmele electrice lăsate de micrometeoriti în timpul pătrunderii lor în atmosferă. Acești meteoriti mărunți pătrund cu sutele de mii în atmosfera pămîntească și lasă în urma lor dîre de aer ionizat care durează uneori cîteva secunde. Aceste dîre ionizate formează o oglindă foarte bună pentru undele de radio scurte și ultracurte.

Pentru a se transmite la mare distanță o cantitate cît mai mare de informație într-un timp dat, s-a studiat și s-a realizat un sistem de radiocomunicații în care undele sînt emise spre ionosferă, se reflectă în dîrele ionizate și ajung după distanțe de mii de kilometri la postul de recepție (fig. 6). Deoarece dîrele ionizate sînt sporadice și durează fiecare cîteva fracțiuni de secundă sau cel mult cîteva secunde, transmisia semnalelor este declanșată numai în scurtele intervale de timp cît durează dîrele ionizate. Transmisia semnalelor (telegrafia) se face automat, cu o mare viteză de transmitere, iar la recepție se înregistrează pe o bandă magnetică la fiecare stabilire a comunicației.

Pe marile artere de telecomunicații funcționează cabluri coaxiale prin care se pot transmite, pe un singur circuit, cîte 1 000 sau chiar 2 000 de convorbiri simultane. În loc ca fiecare convorbire să ocupe separat cîte un circuit fizic,



ea ocupă cîte un *canal de frecvență*, adică o anumită lungime de undă, ca în radiodifuziune. Cînd sînt 2 000 de canale telefonice, echipamentul de amplificare și de filtrare este destul de complicat și de costisitor (deși mult mai ieftin decît pentru 2 000 circuite fizice separate). De aceea se studiază mereu reducerea acestui echipament prin „îngustarea” la maximum a canalelor individuale.

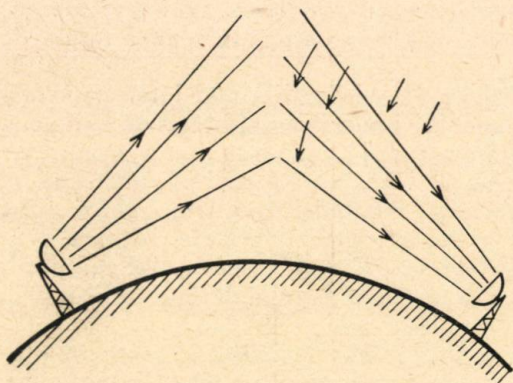


Fig. 6. Radiocomunicații prin reflexiă pe direle ionizate lăstate de meteoriți.

Îngustarea canalelor de telecomunicații se poate face „înghesuind” lungimile de undă, dar rezultatul este o calitate inferioară a comunicației. Teoria informației arată însă că, într-un semnal ce reprezintă convorbirea telefonică, o mare parte este redundantă (semnale inutile). Dificultatea constă în extragerea semnalului pur, debarasat de redundanță, care este intim legată cu semnalul util.

Un sistem care a fost încercat în marile laboratoare de telecomunicații existente este așa-numitul „vocoder” (fig. 7), adică sistem pentru transmiterea vocii prin cod. La postul de emisie, semnalul vorbirii este analizat și se extrag din el numai caracteristicile esențiale care conțin informația convorbirii. Aceste caracteristici (ca, de exemplu, înălțimea tonului din sunetele respective și variațiile acestor tonuri după intonația silabelor, așa-numita *modulație silabică*) sînt transformate în semnale mai simple, de cod, care se transmit pe linie. La recepție, aceste semnale de cod comandă sinteza vorbirii și aceasta se aude cu toate caracteristicile ei naturale.

Cu acest sistem se poate „îngusta” canalul telefonic la  $1/10$  din cel normal. Cum însă echipamentele terminale, de analiză și sinteză a vorbirii, sînt foarte complicate și costisitoare, sistemul „vocoder” nu s-a introdus încă în exploatarea telefonică.

Mai puțin pretențioase decît „vocoderul”, dar de mare utilitate în practică, sînt sistemele de telemecanică. În aceste sisteme semnalele sînt mai simple și pot fi mai ușor transformate în conformitate cu cerințele teoriei informației. Astăzi, transmiterea datelor de telemăsură, de telesupraveghere, a semnalelor de telecomenzi, de telereglaje și de protecție selectivă pe rețelele electrice se face ținîndu-se seama de cele două principii ale teoriei informației: cantitate



maximă de informație într-un canal dat și protecție optimă, deci siguranță maximă, a semnalului transmis.

Deoarece eficacitatea maximă cere reducerea redundanței, iar această reducere înseamnă în general micșorarea siguranței de transmitere, trebuie găsită soluția optimă din ambele puncte de vedere.

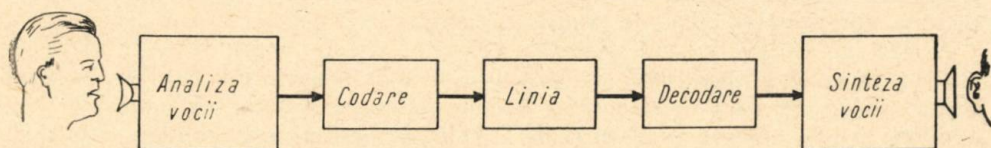


Fig. 7. Vocoder (schemă bloc).

Pe această linie s-au realizat sisteme de cercetare a stratelor înalte ale atmosferei și ionosferei prin dispozitive de radiolocație, precum și sisteme speciale de radiolocație cu impulsuri puternice pentru cercetarea prin reflexie a planetelor (Venus, Mercur). Comunicațiile cu navele cosmice lansate și conduse de oameni pe orbite în jurul Pământului, precum și cu stațiile interplanetare lansate spre planetele Venus și Marte, folosesc semnale cu coduri speciale, conținând redundanță, introduse anume pentru a putea fi detectate în prezența zgomotelor cosmice.

Detectia acestor semnale de la distanțe astronomice se bazează pe diferența dintre proprietățile statistice ale semnalelor transmise și ale zgomotului, proprietăți statistice definite prin așa-numitele funcții de corelație. Tot aceste funcții de corelație ne vor permite să detectăm prezența unor eventuale semnale de informație, emise, poate, de ființe inteligente din alte planete sau alte sisteme solare.

•

Problemele teoriei informației au preocupat și o seamă de cercetători din țara noastră, care au adus unele contribuții pozitive în acest domeniu.

Astfel se pot menționa studiile introductive ale profesorului I. Constantinescu, unul dintre pionierii științei telecomunicațiilor și a teoriilor statistice aplicate în transmiterea informației la noi în țară.

Profesorul Edm. Nicolau a studiat prin prisma teoriei informației mijlocul cel mai natural de comunicație, vorbirea, în diferite probleme de lingvistică pură și aplicată.

Profesorul Al. Spătaru s-a ocupat de problema transmiterii informației în televiziunea în culori, iar autorul acestor rânduri a studiat eficacitatea și protecția sistemelor de telecomunicații la mare distanță pe baza teoremelor fundamentale ale teoriei informației. Alți cercetători și tehnicieni au aplicat concluziile acestei teorii la soluționarea optimă a transmiterii datelor și comenzilor la distanță.



De asemenea trebuie subliniat că teoria informației a căpătat o dezvoltare și o importanță deosebită în zilele noastre datorită condițiilor speciale ale vieții contemporane. Progresele rapide ale științei și tehnicii au făcut să crească vertiginos cantitatea de informație disponibilă omului. Astfel, după datele statistice mondiale, numărul de titluri de cărți pe tot globul se cifrează la 30 000 000, iar numărul de brevete de invenții la 12 000 000. În fiecare minut se editează în lume aproximativ 2 000 de pagini de tipar<sup>1</sup>.

Aceste informații, precum și altele nescrise, trebuie comunicate între persoane prin viu grai, prin scris sau prin mijloace de telecomunicații. Dar comunicarea informației nu merge numai de la om la om, ci și de la om la mașină (de execuție sau de calcul), precum și de la celulele periferice la celulele centrale ale creierului, la ființele vii.

Aceste informații, de cele mai variate esențe, de la informații senzoriale la informații matematice sau muzicale, trebuie prelucrate cu maximum de eficiență, trebuie păstrate în „memorii” cât mai uriașe și trebuie transmise cu maximum de fidelitate.

Prin aplicarea judicioasă a teoriei informației în cele trei forme ale procesului de informație, sfera de activitate conștientă a omului se poate extinde foarte mult și capacitatea lui de acțiune asupra naturii poate crește vertiginos.

Această perspectivă de amplificare uriașă a posibilităților intelectuale ale omului este realizabilă numai într-un regim de muncă planificată, într-o ordine în care sînt asigurate condițiile dezvoltării raționale a științei și tehnicii în folosul tuturor.

---

<sup>1</sup> *Cibernetica*, Editura Politică, București, 1963, p. 125



Maşinile  
electronice de calcul,  
un important factor de progres

---

de ing. V. TOMA  
şef de laborator I.F.A.







## DE LA ABAC LA MAȘINA ELECTRONICĂ

Dezvoltarea uriașă a științei de-a lungul veacurilor a impus efectuarea unui uriaș volum de calcule. Din această cauză, preocupări în direcția ușurării efectuării calculelor numerice au existat din cele mai vechi timpuri. Astfel, cel mai simplu instrument de calcul, abacul, era cunoscut de vechii greci și de romani; rigla de calcul a fost inventată în urmă cu vreo mie de ani; în 1641, Pascal, vestit filozof și matematician francez, a realizat o mașină de calcul pe bază de roți dințate pentru executarea operațiilor fundamentale: adunarea, scăderea, înmulțirea și împărțirea; la mijlocul secolului trecut, un inginer englez, Charles Babbage, a făcut proiectul unei „mașini analitice” în care apar noțiunile de „memorie” și „sistem aritmetic”, specifice celor mai moderne mașini electronice din epoca noastră; în 1911 academicianul rus A.N. Krilov a realizat prima mașină pentru integrarea ecuațiilor diferențiale; în 1920 au apărut în S.U.A. primele mașini contabile, funcționând pe bază de cartele perforate. Anul 1943 este considerat ca an de naștere a mașinilor electronice, paternitatea fiind disputată între grupul condus de profesorul Zuse în Germania și societatea IBM în S.U.A. Ulterior au fost create mașinile ENIAC (realizată în 1946 la Universitatea din Pennsylvania) și MESM (realizată în 1948 la Kiev), unele dintre primele mașini electronice de tip numeric care au funcționat o lungă perioadă de timp.

Apariția mașinilor electronice de calcul a fost adesea considerată ca o revoluție industrială, comparabilă ca importanță cu inventarea tiparului, deoarece prin realizarea mașinilor electronice se automatizează unele procese intelectuale (spre deosebire de toate mecanizările și automatizările efectuate înaintea celui de-al doilea război mondial, care se refereau la problemele mecanizării funcțiunilor fizice ale omului).

Datorită importanței acestor mașini, efortul de cercetare și investițiile materiale făcute în acest domeniu au fost foarte mari, fapt care a dus la dezvoltarea extrem de rapidă a construcției acestor agregate. În numai 20 de ani, producția lor a cunoscut următoarele etape:

a) Construirea de mașini pentru automatizarea efectuării calculelor și a comenzii unor procese industriale, caracterizate prin aceea că execută o succesiune de operații aritmetice și logice în conformitate cu un program dinainte stabilit. Rezultatele operațiilor efectuate sînt comunicate în exterior, ca rezultate ale unui calcul, sau comandă o mașină-unealtă automată ori chiar o linie de producție industrială, dirijînd astfel anumite procese de producție. Rolul primordial al acestor mașini este de a prelua din activitatea omului sarcinile de rutină, plicticoase și obositoare, și de a duce la îndeplinire aceste sarcini mai repede și mai bine.



b) Construirea de mașini pentru prelucrarea informației, care au rezultat din evoluția mașinilor precedente, prin extinderea domeniilor lor de aplicare la unele ramuri de activitate intelectuală, ramuri care aparent nu aveau nici o legătură cu calculul numeric: muzică, lingvistică, documentare, bibliografie etc. În fond însă, prin folosirea anumitor corespondențe sau coduri, activitatea mașinilor electronice în aceste domenii revine tot la efectuarea unor calcule aritmetice și logice, ca și în cazul mașinilor de calcul propriu-zise. Caracteristică mașinilor de prelucrare a informației este folosirea sistemului „alfanumeric” de introducere a problemelor și de obținere a rezultatelor, ceea ce înseamnă că comunicarea în ambele sensuri cu mașina nu se face numai prin cifre, ca în mașinile de calcul propriu-zise, ci și prin litere sau cuvinte.

c) Dezvoltarea mașinilor cibernetice (etapă superioară de evoluție, în cadrul căreia ne aflăm abia la început), a căror realizare practică se consideră că va reprezenta o nouă revoluție industrială. Acestea sînt mașinile care „învăță”, care din volume mari de informații comunicate nu numai că aleg varianta optimă, dar își și perfecționează încontinuu răspunsul. Aplicațiile practice ale mașinilor cibernetice vor permite automatizarea în continuare a proceselor intelectuale, cu speranța de a se putea interveni într-o oarecare măsură și în procesele de creație.

## DOMENIILE DE APLICARE A MAȘINILOR ELECTRONICE DE CALCUL

Aplicațiile cele mai importante în care mașinile electronice se folosesc astăzi curent sînt: aplicațiile cu caracter tehnic-științific, aplicațiile cu caracter economic, aplicațiile referitoare la automatizări complexe, cele cu caracter militar sau cu privire la cucerirea spațiului cosmic. În unele dintre aceste aplicații nici nu s-ar putea concepe o activitate la un nivel corespunzător, fără utilizarea mașinilor electronice.

Aplicațiile tehnice-științifice se referă la rezolvarea cu ajutorul mașinilor electronice a unor probleme foarte laborioase, care altfel nu puteau fi rezolvate sau care impuneau simplificări bazate pe sacrificarea parțială a exactității rezultatelor. Astfel de probleme apar în optică, geodezie, chimie, energetică, mecanică, meteorologie, astronomie, fizica și tehnica nucleară, analiză numerică etc., sau, pe scurt, în toate domeniile de activitate ale institutelor de cercetare și de proiectare, precum și în numeroase domenii ale producției industriale.

Aplicațiile cu caracter economic se bazează pe obținerea unor soluții exacte ale problemelor ce pot fi enunțate în mod corespunzător posibilităților mașinii în locul unor soluții aproximative bazate pe intuiție și experiență profesională. Asemenea lucrări se dovedesc a fi extrem de rentabile, întrucît o diferență de numai cîteva procente în soluțiile economice aplicate generează economii foarte mari. Astfel sînt problemele de programare liniară cu aplicații la încărcarea mașinilor (de exemplu a sondelor petroliere), la producție și la transporturi.



Experiența dobândită în diferite țări arată că folosirea soluțiilor exacte obținute prin calcul conduce la o economie de ordinul a 8—10%, ceea ce, în cazul aplicării la o ramură de producție, reprezintă sume impresionante. În alte cazuri, marile economii obținute se datoresc posibilității de folosire în timp util a rezultatelor. Astfel, în domeniul statisticii, unele probleme ce necesitau calcule foarte voluminoase, de exemplu prelucrarea datelor unui recensământ, calcule care mai înainte necesitau un timp de 1—2 ani, au putut fi efectuate în numai câteva săptămâni prin introducerea mijloacelor electronice moderne de calcul.

În domeniul automatizărilor complexe, mașinile electronice au fost folosite atît pentru comanda automată a unei linii de producție industrială, cît și pentru comanda unor mașini-unelte izolate în scopul îmbunătățirii calitative și cantitative a producției și al micșorării efortului uman corespunzător. Într-un asemenea caz, rolul mașinii este de a primi datele măsurate de la diferite instrumente de măsură, de a calcula o soluție optimă și de a dirija procesul de producție în vederea obținerii randamentului maxim. Numeroase asemenea automatizări complexe au fost introduse în cele mai diferite ramuri industriale, în special în industria chimică, metalurgică, siderurgică, în uzinele de textile și încălțăminte etc. Folosirea acestor metode moderne, dintre care multe au fost prezentate la congresele organizate de Federația internațională de control automat (I.F.A.C.) la Moscova, în 1960, și la Bâle, în 1963, au permis substanțiale creșteri ale producției.

În această privință trebuie dat un răspuns anticipat unei întrebări care se pune adeseori: folosirea unei mașini electronice, deci a unui dispozitiv complex care se poate defecta uneori, pentru controlul unui proces de producție industrială nu poate conduce uneori și la întreruperi în producție care să micșoreze sau chiar să anuleze economiile realizate? Răspunsul este că, în afara precauțiilor ce se iau în construcția mașinilor ca să se evite pe cît posibil orice cauză care ar conduce la o întrerupere a funcționării normale, se mai iau și alte măsuri, și anume: se restrînge foarte mult domeniul de optimizare a procesului de producție, de exemplu între limitele  $\pm 5\%$ . Orice defecțiune a mașinii electronice de comandă care ar avea ca rezultat depășirea limitei fixate face ca mașina să fie scoasă automat din funcțiune, iar procesul de producție să continue în timpul reparării ei neoptimizat.

Aplicațiile cu caracter militar ale mașinilor electronice și cele legate de cucerirea spațiului cosmic se bazează atît pe calcule cu caracter științific, de exemplu pentru determinarea traiectoriei unei rachete, cît și pe automatizări complexe pentru dirijare. Se întreprind de asemenea numeroase studii cu privire la teoria jocurilor, cu aplicații directe la strategia militară, precum și cu privire la traduceri automate și la reconstituiri de texte în legătură cu problemele de criptografie.

Din cele câteva considerații expuse rezultă utilitatea indiscutabilă a mașinilor electronice într-un stat industrial modern, fapt subliniat adesea în numeroase congrese, conferințe sau alte manifestări cu caracter intern sau internațional.



## PROPRIETĂȚI SPECIFICE MAȘINILOR ELECTRONICE DE CALCUL

Se pune adeseori întrebarea: în ce constau calitățile specifice unei mașini electronice de calcul care au făcut ca utilizarea lor să devină o problemă de stat, iar importanța aplicațiilor să conducă la înființarea unor mari industrii cu acest specific?

Prima calitate esențială a mașinii electronice constă în viteza de lucru. Un bun calculator uman dotat cu o mașină electrică de calcul poate executa în ritm maxim aproximativ 1 000 de operații aritmetice pe zi. Cu ajutorul unei mașini electronice rapide, aceleași calcule pot fi executate cu o viteză care la unele mașini poate fi de 42 000 de operații pe secundă (mașina IBM-704). O asemenea mașină este echivalentă cu o întreagă armată de calculatori. Avînd o asemenea viteză de lucru, o mașină electronică poate calcula traiectoria unui obuz într-un timp mai scurt decît este necesar obuzului s-o parcurgă. De asemenea, datele recepționate prin radio de la sateliții artificiali ai Pămîntului și de la rachetele cosmice sînt permanent transmise unor mașini electronice de calcul pentru determinarea rapidă a orbitei și a altor caracteristici ale zborului. Viteza de lucru a mașinilor electronice crește neconținut, cifre de ordinul 1 000 000 de operații pe secundă fiind azi o realitate, (de exemplu, mașina engleză Atlas), iar proiecte de 10 000 000 de operații pe secundă fiind în curs de realizare.

A doua calitate esențială a unei mașini electronice constă în aceea că ea înfăptuiește și unele operații noi, care, atunci cînd se lucrează cu o mașină mecanică, nu sînt executate de mașină, ci de operator. Este vorba de așa-numitele operații logice. Să luăm un exemplu simplu. Dacă, în cursul unui calcul cu o mașină de birou, la un moment dat două numere trebuie comparate, iar operația continuă apoi cu numărul cel mai mare, sarcina de a decide într-o asemenea situație revine operatorului. La o mașină electronică, operația este executată automat pe baza programului inițial al problemei. Consecința este că într-o anumită situație mașina poate să ia o decizie, adică dintr-un număr de posibilități existente să aleagă singura cale ce trebuie urmată. De asemenea, în rezolvarea unei probleme, mașina poate continua calculul pînă cînd obține precizia necesară care i-a fost indicată inițial. Pe aceeași bază, mașina poate detecta și elimina propriile ei greșeli, de pildă prin repetarea pe porțiuni a unui calcul și prin refacerea calculelor care nu au condus la rezultate identice.

A treia calitate fundamentală a mașinilor electronice este „memoria”. Mașina poate înregistra numere care reprezintă fie date ale unei probleme, fie programul problemei potrivit unui cod anumit. În memoria operativă a mașinii se înscriu date și rezultate intermediare cu care mașina lucrează în mod curent și care pot fi deci obținute în cel mai scurt timp posibil. Dispozitivele auxiliare de memorie, constituite, de exemplu, din benzi de magnetofon cu o capacitate de sute de mii de numere fiecare, reprezintă date auxiliare, tabele de valori etc., care, după necesitate, sînt folosite, prin trecerea lor în blocuri mai mici, în memoria operativă a mașinii.



Marile posibilități de folosire a mașinilor electronice se datorează acestor calități care permit efectuarea operațiilor aritmetice și logice cu mare viteză și existenței unui dispozitiv de memorizare de mare capacitate.

O altă calitate importantă a unei mașini electronice este siguranța în funcționare. Deși se spune că nu există nici o mașină care să nu greșească, important este la ce interval de timp, respectiv la câte operații apare o eroare și ce mijloace există pentru detectarea ei. Luându-se nenumărate precauții constructive, s-a ajuns în unele cazuri să se producă o singură eroare la  $10^9$  operații, depășindu-se cu mult posibilitățile oricărui calculator uman. Diferite măsuri de control automat a calculelor pot exclude practic apariția unei erori.

Trebuie să amintim de asemenea că, spre deosebire de mașinile de calcul obișnuite, o mașină electronică face parte din categoria mașinilor cu program. Aceasta înseamnă că la o mașină electronică nu se comandă în mod distinct fiecare operație în parte, ci operatorul îi transmite spre rezolvare un grup de operații, grup ce poate comporta milioane de operații aritmetice și logice, pe care mașina le execută cu mare viteză, evidențiind astfel calitățile ei. Programul unei probleme reprezintă deci totalitatea ordinelor (sau instrucțiunilor) care se transmit mașinii pentru a rezolva o problemă dată. Acest program este adesea constituit din subprograme, sau rutine, care reprezintă totalitatea ordinelor pentru rezolvarea unei probleme-standard, de exemplu a unei funcții trigonometrice, a unui logaritm, a unei rădăcini de un ordin oarecare etc., și care sînt folosite în mod curent ca și cînd ar fi o simplă instrucțiune a mașinii. Dacă în stadiul inițial programul de rezolvare a unei probleme trebuia stabilit foarte minuțios de un matematician specializat în folosirea mașinilor electronice, ulterior au fost puse la punct diferite metode de programare automată, urmărindu-se ca mașina să-și alcătuiască singură programul unei probleme, pornind de la o exprimare cît mai apropiată de formularea matematică obișnuită a problemei. În felul acesta, mașina preia din activitatea programatorului munca de rutină pe care acesta ar trebui s-o îndeplinească. Iese astfel în evidență încă o dată tendința constantă de a transmite mașinii automate orice fel de sarcini de rutină, sarcini care apar curent în prezent în toate domeniile de activitate umană și care pot fi executate mai bine și mai repede de către mașini.

## CLASIFICĂRI ALE MAȘINILOR ELECTRONICE DE CALCUL

În practică se întîlnesc tipuri foarte variate de mașini electronice; acestea pot fi clasificate după diferite criterii.

Astfel, după modul de reprezentare a informației și de funcționare a mașinii, deosebim două mari categorii de mașini electronice: *mașinile numerice*, *cifrice* sau *digitale*, în care informația este reprezentată în formă numerică, prin valori discrete, precizia reprezentării fiind în funcție de numărul cifrelor întrebuintate, și *mașinile analogice*, în care datele unei probleme sînt reprezentate prin



valori continue. Din punct de vedere funcțional, mașinile numerice execută operații asupra numerelor abstracte, în timp ce în mașinile analogice se simulează un fenomen folosindu-se un fenomen fizic care se exprimă prin aceleași ecuații, iar rezultatele se obțin prin măsurări efectuate asupra acestui fenomen fizic. Din această cauză, mașinile analogice se mai numesc modele sau simulatori.

După domeniul de aplicare al mașinilor electronice, distingem *mașinile universale*, folosite pentru soluționarea unor vaste categorii de probleme, și *mașinile specializate*, destinate unui grup restrâns de probleme, eventual chiar unui singur tip de problemă. Primele sînt în general utilizate pentru efectuări de calcule complexe, ultimele mai ales pentru controlarea și dirijarea unui anumit proces industrial.

După raportul dintre numărul de date ale unei probleme și numărul de calcule ce urmează a fi efectuate, distingem *mașini electronice pentru scopuri științifice*, folosite, de exemplu, pentru sisteme de ecuații liniare sau diferențiale, și *mașini pentru probleme cu caracter statistic*, de exemplu pentru prelucrarea unor rezultate experimentale.

După elementul tehnic de bază al mașinii electronice respective, distingem *mașini realizate cu tuburi electronice*, de exemplu mașinile sovietice: URAL-1, URAL-2, BESM-1, BESM-2, M-2, M-3, M-20, mașinile poloneze XYZ, ZAM-2, mașina germană ZRA-1, mașinile occidentale: IBM-650, IBM-701, IBM-702, IBM-703, IBM-704, IBM-705, Gamma-3, Ferranti-Mercury etc. În acest domeniu, cercetările au condus la obținerea unor tuburi electronice cu viață lungă, de minimum 10 000 ore de funcționare.

Tranzistoarele sînt des folosite la construcția mașinilor electronice, de exemplu la mașinile: RAZDAN (U.R.S.S.), IBM-7070 (S.U.A.), Siemens-2002 (R.F.G.), Gamma-60 (Franța), Elliott-803 (Anglia) etc. Producătorii respectivi susțin că, prin luarea unor măsuri efective de menținere a temperaturii de lucru constante, prin elaborarea unor scheme electronice judicioase și prin perfecționarea tranzistoarelor fabricate, s-a ajuns să se realizeze lungi perioade de funcționare fără nici o defecțiune.

Parametronii sînt elemente de mașini elaborate în Japonia și folosite, împreună cu tuburi electronice sau cu tranzistoarele, la construcția a 50% din mașinile realizate în această țară. Avantajul folosirii parametronilor, care reprezintă un circuit oscilant special realizat cu ajutorul unui inel de ferită, constă într-o mai mare siguranță de funcționare în exploatare.

Printre elementele care se află într-un stadiu de dezvoltare avansat, dar care încă nu au fost folosite industrial, cităm: criotronii, care funcționează pe baza fenomenului de supraconductibilitate a metalelor la temperaturi foarte joase (în apropiere de zero absolut); diodele-tunel, care ar permite obținerea unor viteze de lucru mai ridicate cu un ordin de mărime față de cele de astăzi; dispozitivele de memorie cu film magnetic, care ar permite realizarea unei memorii de mare capacitate într-un spațiu redus, ș.a.

În cazul particular al mașinilor numerice intervin unele clasificări suplimentare printre care:



*Mașini binare și mașini zecimale*, după cum sistemul de numerație folosit pentru reprezentarea numerelor este în baza 2 sau în baza 10. Sistemul binar este foarte răspândit din motive lesne de înțeles: este mult mai ușor să se reprezinte o cifră binară, care are numai două posibilități (0 sau 1), printr-un montaj electronic care să aibă numai două poziții stabile de echilibru, pe baza principiului tot sau nimic, decât o cifră zecimală care necesită zece poziții stabile de echilibru distincte. Se înțelege că în mașinile binare se iau unele precauții speciale pentru ca datele unei probleme să fie introduse în mașină în sistemul zecimal obișnuit, iar rezultatele să fie de asemenea comunicate de mașină în exterior tot în sistemul zecimal spre a evita unele greutăți de interpretare. Totuși, unele mașini, în special destinate calculului cu caracter statistic sau contabil, funcționează în sistemul zecimal (mașina Gamma-3).

*Mașini serie și mașini paralel*, după modul cum se execută calculele în interiorul mașinii: fie pe rînd cu fiecare cifră a unui număr în parte, fie cu toate cifrele unui număr dintr-o dată. Mașinile de tip serie au avantajul de a folosi în general un număr mai redus de elemente, ceea ce micșorează costul mașinii, în schimb sînt limitate în viteza de lucru și se bazează pe scheme logice mai complexe care îngreuiază întreținerea. Situația se inversează la mașinile de tip paralel.

*Mașini electronice mari, medii și mici* reprezintă o clasificare oarecum neștiințifică, dar curent folosită în practică. Ea se referă în general la ansamblul calităților unei mașini electronice, și în special la *viteză* și *cost*. Astfel, printr-o mașină de viteză mare se înțelege o mașină care realizează cel puțin 5 000 de operații pe secundă, o mașină de viteză medie execută 500—5 000 de operații pe secundă, iar o mașină mică realizează 25—500 de operații pe secundă. Problema dacă cu o anumită investiție este recomandabilă o mașină mare sau mai multe mașini medii sau mici este adesea dezbătută în diferite cercuri de specialitate, existînd partizani hotărîți ai diferitelor tipuri. Este foarte probabil că soluția cea mai bună depinde de o serie de alți factori specifici fiecărui loc de utilizare în parte, printre care natura problemelor, gradul de încărcare probabilă a mașinilor, personalul specializat existent etc.

## SCURTĂ DESCRIERE TEHNICĂ A UNEI MAȘINI ELECTRONICE

**Exemple de mașini realizate.** Ansamblul care constituie o mașină electronică numerică se compune în general din următoarele părți distincte:

a) *Dispozitivul de introducere a datelor*. Acesta servește la citirea datelor pregătite pentru a fi introduse în mașină; pregătirea constă din înscrierea informației fie pe cartele perforate, în general cu 80 de coloane — ceea ce permite înscrierea a 8 numere de cîte 10 cifre pe o cartelă —, fie pe o bandă perforată, cu 5,7 sau 8 canale, de dimensiuni standardizate. În ambele cazuri, informația este înscrisă prin prezența și poziția unor perforații care se obțin cu un perforator prevăzut cu o claviatură similară celei de la o mașină de scris. În unele



cazuri, cartelele sau banda perforată sînt citite direct de mașina electronică, în alte cazuri conținutul acestora este mai întîi transcris pe bandă de magnetofon, ceea ce permite o citire mult mai rapidă a informației, economisindu-se astfel timpul de folosire a mașinii.

b) *Dispozitivul de memorie al mașinii.* Acesta servește la înregistrarea informației, fie pentru o durată nelimitată (de exemplu tabelele de valori care sînt permanent necesare), fie pentru un timp limitat (de exemplu rezultatele intermediare care apar în cursul unui calcul și care ulterior nu mai sînt necesare). Caracteristicile principale ale unui dispozitiv de memorie sînt: capacitatea, adică numărul de cifre care pot fi înregistrate, și timpul de acces, adică timpul de așteptare din momentul în care s-a dat ordinul de citire a unui număr din memorie și pînă în momentul cînd acest număr este obținut de mașină.

După mărimea timpului de acces, se disting în general trei categorii de dispozitive de memorie: memorie rapidă, cu timpul de acces de ordinul milioanelor de secundă, memorie intermediară, cu timpul de acces de ordinul miimilor de secundă, și memorie lentă, cu timpul de acces de ordinul secundelor. La unele mașini se întîlnesc toate cele trei categorii de dispozitive de memorie, în altele numai două sau chiar o singură categorie.

c) *Sistemul aritmetic al unei mașini electronice.* Acesta are rolul de a efectua operațiile aritmetice fundamentale: adunarea, scăderea, înmulțirea și împărțirea, precum și unele operații logice. Această parte a mașinii este singura în care se generează numere noi rezultate din operații de calcul, pe cînd tot restul mașinii servește fie la înregistrarea informației, fie la transferul ei dintr-o parte în alta a mașinii.

d) *Sistemul de comandă al unei mașini electronice.* Acesta conduce automat executarea unei probleme în conformitate cu succesiunea de ordine care constituie programul problemei respective. Pentru aceasta, mașina examinează fiecare ordin primit, comandă citirea din memorie a numerelor care intervin, calculează cu ajutorul sistemului aritmetic operațiile necesare și coordonează în timp activitatea întregii mașini.

e) *Dispozitivul de ieșire al unei mașini.* El permite comunicarea în exterior a rezultatelor obținute prin calcul. Aceasta se face fie prin imprimarea lor pe hîrtie, de exemplu cu ajutorul unei mașini de scris electrice acționate automat, fie prin perforarea automată a cartelelor sau a benzilor de hîrtie, ceea ce are avantajul că acestea pot fi ușor reintroduse în mașină. În același scop se folosesc și benzile de magnetofon.

Iată cîteva exemple de mașini electronice numerice:

MINSK-2 este o mașină tranzistorizată, realizată în U.R.S.S. Conține 7 500 de tranzistoare și 15 000 de diode. Are o memorie operativă cu ferite, de 4 096 de numere și o memorie auxiliară pe benzi magnetice. Intrarea se face cu bandă perforată, citită fotoelectric cu viteza de 800 de caractere pe secundă, iar ieșirea — cu un dispozitiv de scriere în linie, cu viteza de 20 de numere pe secundă. Realizează o viteză de 6 000 de operații pe secundă și este destinată mai ales institutelor de cercetări și proiectări.



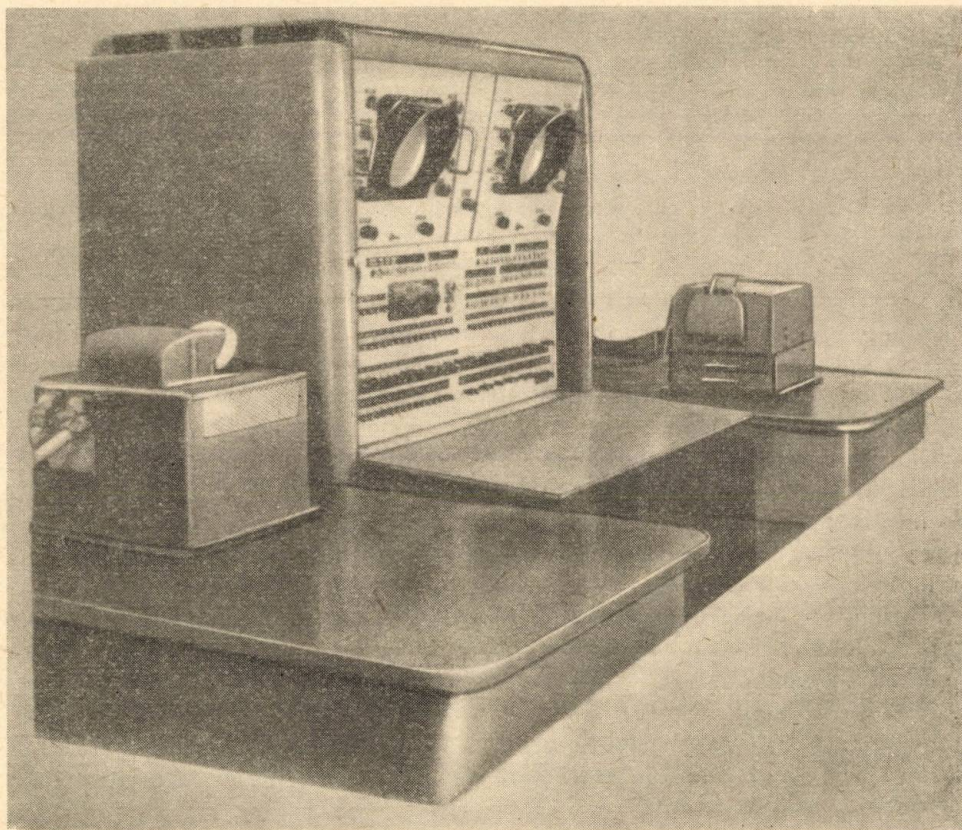


Fig. 1. Mașina electronică ZAM-2.

BESM-2 reprezintă o versiune industrială a mașinii anterioare BESM-1, realizată la Institutul de mecanică de precizie și tehnică a calculelor din Moscova sub conducerea acad. Lebedev. Mașina BESM-2 execută 8 000—10 000 de operații pe secundă, fiind prevăzută cu o memorie cu ferite pentru 2 048 de numere, o memorie cu 3 cilindri magnetici, avînd fiecare o capacitate de cîte 6 000 de numere, și cu dispozitive de memorie lentă pe benzi magnetice. O mașină de acest tip este instalată la Centrul de calcule al Academiei de Științe din Moscova.

SETUN este o mașină electronică realizată la Universitatea „Lomonosov” din Moscova. Agregatul are la bază o logică foarte interesantă, bazată pe folosirea sistemului de numerație în baza 3. Mașina este alcătuită din 4 000 de miezuri de ferită, 4 000 de diode cu germaniu, 100 de tranzistoare și 40 de tuburi electronice. Este prevăzută cu o memorie cu ferite pentru 81 de



numere și un cilindru magnetic pentru 1 130 de numere. Mașina lucrează cu o viteză de aproximativ 3 000 de operații pe secundă, este redusă ca volum și în privința consumului.

ZRA-1 este o mașină electronică realizată de întreprinderea Zeiss din Jena, R.D. Germană. Această mașină este construită din 800 tuburi electronice și inele de ferită pentru circuitele logice. Introducerea datelor se face cu cartele perforate. Are o memorie cu cilindru magnetic, cu o capacitate de 4096 de numere, și realizează o viteză medie de 150 de operații pe secundă.

Mașinile electronice XYZ, ZAM-2 (fig. 1) și ZAM-3 au fost realizate la Institutul de mașini matematice al Academiei Poloneze de Științe. Aceste mașini se caracterizează printr-o memorie rapidă de 512 numere și o memorie intermediară de 8 192 de numere. Ele execută operații aritmetice cu viteza de 800 de operații pe secundă (primul model), respectiv 5 000 de operații pe secundă (ultimul model).

Gamma-3 (fig. 2) este o mașină franceză, construită de întreprinderea „Bull” din Paris (un exemplar se află și în țara noastră). Mașina este prevăzută cu un dispozitiv de intrare cu cartele perforate și un dispozitiv de imprimare a rezultatelor. De asemenea are o unitate separată pentru operații aritmetice și logice, precum și memorie operativă pe baza folosirii efectului de magnetostricțiune în fire de nichel, memorie intermediară cu cilindru magnetic cu o capacitate de 16 000 de numere. Realizează o viteză de aproximativ 1 000 de operații pe secundă.

Național-315 (fig. 3) este o mașină de prelucrare a datelor realizată în Anglia. Ea este prevăzută cu o memorie operativă cu ferite pentru 6 000—120 000 de caractere și cu o memorie exterioară pe bandă magnetică constituită din

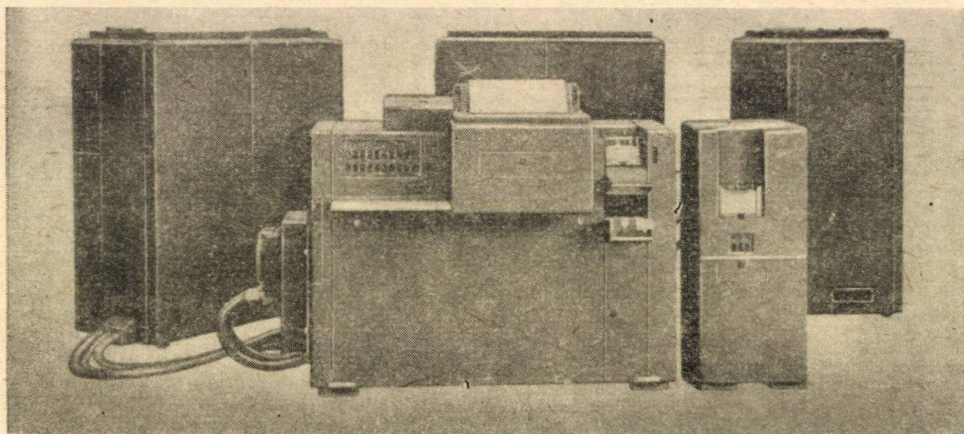


Fig. 2. Mașina electronică Gamma-3.



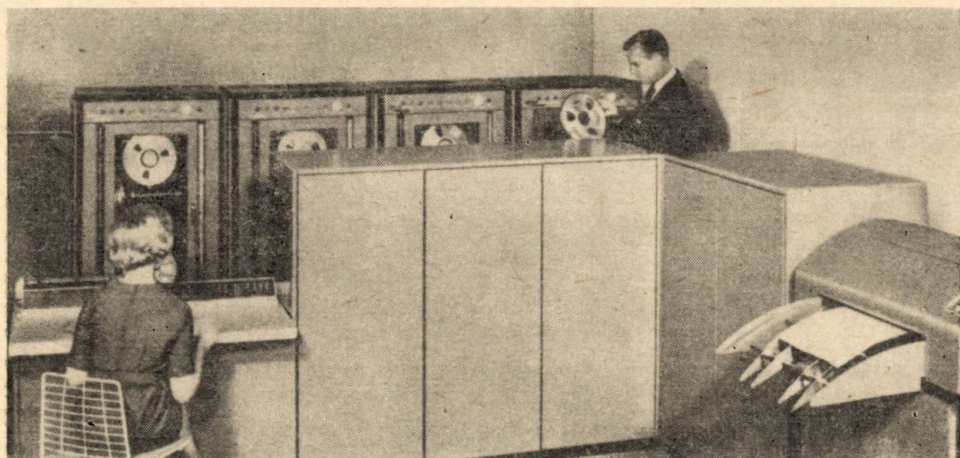


Fig. 3. Mașina electronică Național - 315.

8 unități, pe fiecare unitate putându-se înregistra 20 000 000 de caractere alfa-numerice. Introducerea se face cu bandă perforată citită fotoelectric cu viteza de 1 000 caractere pe secundă. Tipărirea rezultatelor se realizează cu viteza de 1 500 caractere pe secundă. Mașina este realizată în întregime cu tranzistoare. Ea reprezintă o dezvoltare a unei mașini anterioare, Elliott-803, din care un exemplar se află și în țara noastră.

IBM-1401 (fig. 4) este o mașină realizată în S.U.A. și destinată în special mecanizării lucrărilor administrative și de birou. Este compusă din mai multe unități astfel alcătuite, încât după necesitate să poată fi folosite în număr mai mare sau mai mic. Există astfel o unitate de citire a cartelelor perforate, cu

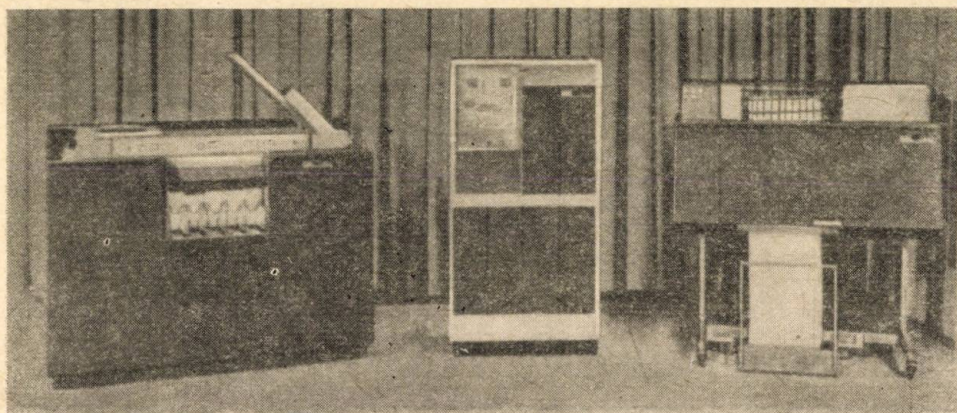


Fig. 4. Mașina electronică IBM- 1401.



viteze de 800 de cartele pe minut, și de perforare a cartelelor, cu viteze de 250 de cartele pe minut. O unitate centrală reprezintă sistemul aritmetic și memoria operativă cu ferite, iar dispozitive de memorie exterioară cu discuri magnetice și cu benzi magnetice dau posibilitatea înmagazinării unui volum de date de capacitate practic infinită. Scrierea rezultatelor se face cu un dispozitiv de imprimare care lucrează cu viteza de 600 de linii pe minut, fiecare linie reprezentând 100 de caractere alfanumerice.

## ORGANIZAREA FOLOSIRII MAȘINILOR ELECTRONICE

Folosirea mașinilor electronice este condiționată, pe de o parte, de existența unui personal specializat, compus din matematicieni, care rezolvă partea matematică și logică a problemelor, și din tehnicieni, care asigură menținerea în bună stare de funcționare a mașinilor. Pe de altă parte, folosirea mașinilor electronice este cu atât mai economică, cu cât este mai intensă. Din acest motiv, în forma inițială de organizare accentul cade pe folosirea centralizată a mașinilor care sînt grupate în centre de calcul, unde pot fi utilizate cu mult mai rațional. Este, totuși, foarte probabil că în viitor, pe măsură ce mașinile vor fi produse în cantități mai mari și se va reduce munca de întreținere a lor, tot mai multe întreprinderi să fie dotate cu mașini electronice proprii.

Deosebit de recomandabilă este folosirea mașinilor electronice la rezolvarea problemelor cu caracter economic, de unde rezultă importante economii. Dacă în țările capitaliste aceasta se poate face cel mai mult pînă la nivelul marilor întreprinderi, în schimb în țările cu economie planificată aplicațiile economice se pot extinde asupra unor ramuri întregi de producție industrială și chiar asupra întregii economii naționale cu rezultate corespunzătoare. Pentru aceste motive, în U.R.S.S., de pildă, există o serie de centre de calcul specializate pentru analiză economică și planificare, iar altă categorie de centre de calcul sînt destinate problemelor cu caracter tehnic-științific. Asemenea centre funcționează pe lângă Institutele Academiei de Științe, pe lângă universități sau pe lângă unele mari întreprinderi industriale.

În celelalte țări socialiste, mașini electronice de construcție proprie sau importate sînt de asemenea curent folosite pentru rezolvarea problemelor cu caracter științific, tehnic sau economic.

## REALIZĂRI ÎN REPUBLICA POPULARĂ ROMÂNĂ

*Mașini electronice numerice.* Primele lucrări în acest domeniu au apărut în 1953 în cadrul Institutului de fizică al Academiei R.P.R., azi Institutul de fizică atomică, cînd, trecîndu-se peste dificultățile inerente oricărui început, a fost inițiată realizarea cu mijloace proprii a unei mașini electronice universale de tip numeric, destinată soluționării unor largi categorii de probleme.



Realizările din această perioadă s-au referit la diferite domenii ale tehnicii impulsurilor, printre care: studiul elementelor logice ale mașinilor electronice, realizarea numărătorilor electronici de diferite tipuri, principiile de executare a operațiilor aritmetice fundamentale în sistemul binar, studiul dispozitivelor de memorie cu cilindru magnetic și altele.

Pe baza rezultatelor obținute s-a început în 1955 proiectarea și construcția calculatorului Institutului de fizică al Academiei R.P.R., CIFA-1, al cărui proiect logic a fost prezentat la Colocviul internațional de mașini matematice, ținut la Dresda în 1955. Această mașină a executat primul calcul automat în aprilie 1957, fiind la acea dată prima mașină electronică de tip numeric pusă în funcțiune în țările socialiste, cu excepția realizărilor din U.R.S.S.

Deși mașina CIFA-1 a fost întrebuințată la rezolvarea mai multor probleme din cele mai diferite domenii de activitate, rolul ei cel mai important a fost acela de școală, căci în jurul ei s-au format cercetători care au obținut o prețioasă experiență în acest domeniu de înaltă tehnicitate, s-au format matematicieni specializați în soluționarea problemelor cu ajutorul mașinii electronice, iar prin exemple practice de probleme rezolvate s-a deșteptat interesul unor cercuri largi de cercetători, proiectanți sau oameni din producție pentru rezolvarea cu mijloace automate a problemelor lor specifice.

Această primă mașină electronică de tip numeric a fost urmată de mașina CIFA-2, pusă în funcțiune în octombrie 1959, de mașina CIFA-3 (fig. 5) în februarie 1961 și de mașina CIFA-4 în mai 1962. Tot în 1962 a intrat în funcțiune și CIFA-101, care este o mașină-serie, spre deosebire de celelalte, care sînt mașini paralel. În 1964 a fost terminată și mașina tranzistorizată CET-500, cu memorie operativă cu ferite, care a fost prezentată la 1964 la Expoziția realizărilor economiei naționale a R.P.R. Tot atunci a fost prezentată și mașina CIFA-102, construită într-o serie de 5 exemplare.

În afara Institutului de fizică atomică au existat de asemenea preocupări în domeniul construcției de mașini electronice numerice care s-au concretizat prin punerea în funcțiune, în 1961, a mașinii MECIPT-1, realizată la Institutul politehnic din Timișoara. Diferite studii și lucrări în acest domeniu se întreprind și la alte instituții, printre care Institutul de calcul al Filialei din Cluj a Academiei R.P.R., Institutul politehnic din Iași, Centrul de calcul al Universității din București, Institutul de matematică al Academiei R.P.R., din București.

Realizările se referă la mașinile electronice de tip numeric (mașini numite și cifrice sau digitale), în care se execută operații aritmetice sau logice între numere abstracte. În țara noastră au existat însă și preocupări în domeniul mașinilor analogice, în care problema prezentată este simulată printr-un sistem fizic avînd aceleași ecuații, iar rezultatele se obțin prin măsurări efectuate asupra acestui sistem fizic. Din această categorie fac parte: calculatorul analogic universal CAU-1, realizat de un colectiv al Academiei generale militare și pus în funcțiune în 1958, mașinile analogice MECAN-1 și MECAN-2, realizate la Institutul de energetică al Academiei R.P.R., simulatorul reactorului nuclear realizat la Institutul de fizică atomică din București și calculatorul analog realizat la secția din Cluj a aceluiași institut.



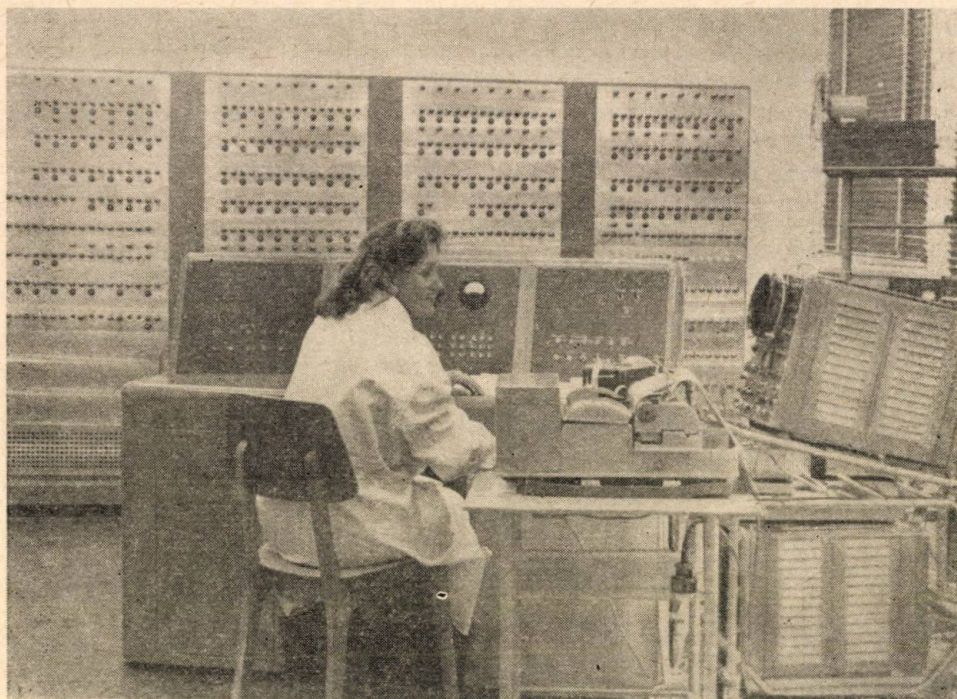


Fig. 5. Mașina electronică CIFA - 3.

Pe lângă studiul, proiectarea și realizarea mașinilor electronice, în țara noastră a existat și preocuparea permanentă de folosire a acestor mașini pentru rezolvarea efectivă a diferitelor probleme. Astfel, la Laboratorul de mașini electronice al Institutului de fizică atomică, pentru realizarea acestei sarcini au fost pregătite cadre specializate de matematicieni și operatori care să asigure programarea problemelor și manevrarea mașinilor.

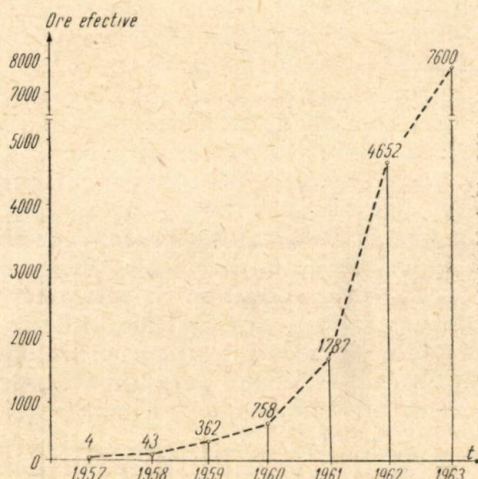
Pregătirea matematicienilor programatori dintre absolvenții Facultății de matematică a Universității din București a fost făcută atât prin cursuri introductive prezentate la universitate, cât și prin practica de vară a studenților la Laboratorul de mașini electronice. De asemenea au fost organizate cursuri speciale de programatori destinate inginerilor, matematicienilor și fizicienilor din diferite instituții. Prin aceste măsuri s-a urmărit ca specialiștii din producție să se formeze ca programatori, capabili să-și rezolve singuri problemele proprii cu ajutorul mașinilor existente. Mai multe întreprinderi și instituții și-au format astfel un personal specializat, pe care-l vor putea folosi mai ales în etapa a doua, când vor fi dotate cu mașini electronice proprii. În felul acesta au fost pregătiți programatori din domeniul fizicii, chimiei, industriei petrolului, energiei electrice, din domeniul hidrotehnic, al construcțiilor etc.



Folosirea mașinilor electronice pentru rezolvarea diferitelor probleme a fost, în cursul anilor, din ce în ce mai intensă. Pentru Institutul de fizică atomică, această creștere este indicată în graficul din figura 6.

Orele efective de folosire indicate în acest grafic nu cuprind timpul de întreținere, de verificare, încercări de programe, repetări de probleme sau între-

Fig. 6. Folosirea mașinilor electronice CIFA în perioada 1957—1963.



ruperi de orice fel, ci numai timpul util efectiv folosit pentru rezolvarea problemelor. În aceste condiții, cu viteza medie a mașinilor CIFA, o asemenea oră efectivă corespunde la aproximativ 100 000 de operații aritmetice. Se constată de la an la an o creștere exponențială a volumului de calcule efectuat cu mijloace electronice.

Problemele care au fost rezolvate pînă în prezent cu ajutorul mașinilor electronice realizate la I.F.A. pot fi grupate în cîteva mari categorii, după domeniul respectiv:

a) *Probleme de fizică atomică.* Volumul cel mai mare de calcule a fost efectuat de Institutul de fizică atomică, și anume într-o proporție de 20—25% din volumul total. Astfel, pentru problema intitulată interacția mezonilor  $\pi$  cu nucleonii în camera cu bule, se calculează: coordonatele spațiale ale traiectoriilor în camera cu bule, curba cea mai probabilă care aproximează traiectoria respectivă, raza de curbură, impulsul și energia particulelor, calculul erorilor. Numai în anul 1962 au fost calculate peste 6 000 de asemenea traiectorii. Pe bază de colaborare, o problemă similară, comportînd 660 de traiectorii, a fost calculată și pentru Institutul de fizică nucleară din Varșovia.

Pentru laboratorul de radiații cosmice au fost calculate tabele ale transformării Lorentz pentru aproximativ 20 000 de valori, pentru studiul stabili-



tății reactorului nuclear diferite sisteme de ecuații diferențiale, pentru studiul betatronului diferite analize armonice și numeroase altele.

b) *Probleme de geodezie*. Prin aplicarea metodei celor mai mici pătrate se stabilesc cu ajutorul mașinii electronice valorile cele mai probabile ale măsurărilor efectuate și se deduc coeficienții ecuațiilor normale care sînt rezolvate prin aplicarea metodei Gauss-Seidel. Au fost rezolvate mai multe sute de asemenea sisteme, avînd numărul ecuațiilor de condiție egal cu 100 — 120 și numărul maxim al necunoscutei sistemelor de ecuații normale egal cu 26.

c) *Probleme hidrotehnice*. Au fost executate calcule hidraulice și morfologice pentru barajele de joasă cădere, cu aplicație la barajul Jiu pentru combinatul chimic și termocentrala de la Craiova. Au fost de asemenea executate numeroase calcule de bilanț pentru bazinele hidrografice ale Someșului, Siretului, Crișului etc. A reieșit că în rezolvarea problemelor de hidraulică folosirea mașinilor electronice de calcul este deosebit de eficientă, chiar în cazurile cînd ecuațiile și condițiile de unicitate sînt foarte complicate.

d) *Probleme energetice*. Calculele cu privire la exploatarea rețelei de înaltă tensiune a țării, care mai înainte erau efectuate cu mijloace clasice, au fost adaptate și executate cu succes cu ajutorul mașinilor electronice numerice. Problemele rezolvate sînt următoarele:

- calculul în complex al impedanței echivalente a unei rețele de transport de energie electrică;

- calculul circulației de puteri active și reactive în rețeaua electrică de înaltă tensiune a țării;

- stabilitatea statică și dinamică a unui sistem energetic;

- planul repartițiilor economice ale surselor de energie dintr-o rețea.

e) *Probleme economice*. Metodele de programare liniară au fost aplicate în numeroase cazuri, în special pentru soluționarea problemelor de transport. Astfel, matrice de dimensiunile  $8 \times 30$  au fost soluționate pentru industria cimentului, iar matrice de dimensiuni mai reduse pentru transportul vagoanelor goale pe rețeaua C.F.R. Asemenea probleme se rezolvă foarte operativ, datele și rezultatele fiind transmise telefonic. În rezolvarea problemelor de transport s-a folosit în special metoda Egerváry, cu o serie de îmbunătățiri substanțiale care reduc volumul de calcule și deci timpul de rezolvare a unei matrice la o treime față de normal.

De asemenea au fost rezolvate probleme cu privire la rentabilitatea întreprinderilor, la studiul suprafețelor cultivate, la diferite aplicații în domeniul industriei alimentare și altele. Menționăm apoi calcularea substanțelor nutritive și a valorilor energetice ale meniurilor distribuite prin rețeaua unităților de alimentație publică, calcul care a permis realizarea unor mari economii.

f) *Probleme metalurgice*. Numeroase probleme au fost soluționate, la cererea Uzinelor metalurgice din Reșița, cu privire la proiectarea discurilor turbinelor la vibrații și rezistență, cu privire la calcularea frecvențelor critice de rezonanță ale axelor turbinelor și altele.

De asemenea au fost calculate numeroase cazuri ale regimului de așchiere pentru elaborarea normativelor în industria metalurgică. Pentru Institutul



de cercetări metalurgice s-au calculat corelații între parametri de care depinde recoacerea tablelor subțiri de oțel.

g) *Alte categorii de probleme rezolvate.* În domeniul astronomiei au fost soluționate numeroase sisteme de ecuații pentru stabilirea catalogului stelelor mici, lucrare efectuată de Observatorul astronomic din București în colaborare cu Observatorul astronomic din Pulkovo.

În domeniul statisticii au fost executate calcule cu privire la dezvoltarea în perspectivă a populației țării în viitorii 15 ani.

În domeniul opticii au fost executate proiectări de sisteme optice.

În domeniul construcțiilor au fost calculate tabele de funcții la cererea Institutului de mine și geologie din Sofia.

Sînt interesante studiile făcute la Institutul de cercetări hidrotehnice, care au înlocuit metodele de calcul cu mașini obișnuite de birou cu lucrul la mașinile electronice de la I.F.A., studii comunicate cu ocazia sesiunii științifice a acestui institut ținută la București în mai 1962. Au reieșit următoarele avantaje ale folosirii mașinilor electronice:

- rapiditatea și economicitatea; timpul de calcul al unei probleme la mașinile electronice CIFA este de aproximativ 300 de ori mai redus în comparație cu mijloacele clasice, iar costul efectuării calculelor cu mașinile electronice de 13 ori mai redus;

- posibilitatea rezolvării unor probleme complicate, care cer volume de calcul mari și care nici nu puteau fi atacate fără mașini electronice, de exemplu calculul curbelor suprafeței libere a Dunării;

- sistematizarea desfășurării calculului și prezentării rezultatelor, ceea ce oferă posibilități mari în rezolvarea problemelor și interpretarea soluțiilor.

Concluzii asemănătoare s-au desprins și din lucrările prezentate la a 3-a sesiune tehnică științifică a Institutului de studii și proiectări energetice, ținută la București în martie 1963, unde în cadrul a nouă comunicări au fost prezentate rezultatele și economicitatea folosirii mașinilor electronice la problemele specifice energiei electrice.

Desigur că creșterea constantă a volumului util de calcule efectuate se datorează în mare măsură și faptului că un număr din ce în ce mai mare de instituții s-au convins astăzi pe deplin de avantajele reale oferite de folosirea mașinilor electronice de calcul.



Dezvoltarea activității în domeniul mașinilor electronice în Republica Populară Română se va face în viitor ținîndu-se seama de obiectivele urmărite, adică de automatizarea complexă a unor procese de producție și de efectuarea calculelor, în special cu caracter economic și statistic. Aceasta va permite creșterea spiritului științific al lucrărilor executate în institutele de cercetări și de proiectări, în întreprinderile industriale, în unitățile cu caracter economic, financiar și statistic, obținîndu-se atît îmbunătățirea calității producției, cît și însemnate economii.



Cercetările în domeniul mașinilor electronice de calcul vor fi continuate și dezvoltate pentru a se realiza noi prototipuri cu performanțe superioare, capabile să rezolve cererile de calcule în continuă creștere. Din punct de vedere teoretic se vor dezvolta noi metode de programare și de analiză numerică, spre a permite o folosire cât mai eficientă și cât mai ușoară a mașinilor electronice. În această privință vor fi studiate și adoptate metode de programare automată a problemelor spre a reduce efortul uman și timpul necesar.

Multiplicarea mașinilor electronice va fi încredințată industriei electronice în plină dezvoltare în țara noastră. Încă de pe acum aceasta a înregistrat o serie de însemnate succese în construcția televizoarelor, a aparatelor de radio-recepție etc. Intrarea în funcțiune a unor linii de producție a diferitelor componente electronice va influența în mod pozitiv construcția mașinilor electronice, căci un lucru este cert: ne trebuie mașini multe, sigure în funcționare, ieftine. Într-un termen scurt e necesar ca ingineri, matematicieni, economiști sau muncitori inovatori să poată avea asigurat accesul la mașini electronice de calcul, unde să-și poată verifica ideile și concepțiile cele mai îndrăznețe sau căroră să le poată încredința muncile oboseitoare, plicticoase, de rutină. Contribuția acestor mașini la întărirea economiei naționale și, prin aceasta, la ridicarea nivelului de trai al întregului popor se va face resimțită numai atunci când ele vor deveni unelte de lucru obișnuite pentru cei mulți.

Aceste mari perspective de dezvoltare ale mașinilor electronice de calcul în țara noastră sînt traduse în viață datorită sprijinului acordat de partid și de stat acestui domeniu de activitate.



Radiația cosmică  
și rolul ei în știința  
modernă

---

E. FRIEDLÄNDER

membru corespondent al Academiei R.P.R.







N-au trecut decît şapte ani de la lansarea primului satelit artificial al Pămîntului.

În acest răstimp însă, studiul spaţiului cosmic, îndeosebi al celui periterestru, a făcut progrese atît de considerabile şi de spectaculoase, încît un mare număr de fenomene şi de obiecte cosmice, care înainte interesau numai pe savanţi, au ajuns să intre în sfera de interes a marelui public.

Între acestea se numără şi radiaţia cosmică, care apare din ce în ce mai des în relatări de presă, atît ca obiect de studiu cu ajutorul sateliţilor şi rachetelor cosmice, cît şi din punctul de vedere al pericolului pe care îl poate prezenta pentru om în încercările de navigaţie cosmică. Este însă mai puţin ştiut că, încă de la începutul secolului nostru, acest complex de radiaţii, care, venit în spaţiul cosmic, bombardează fără încetare din toate direcţiile atmosfera Pămîntului, a jucat şi joacă un rol important în fizica nucleară şi, îndeosebi în fizica particulelor elementare de mare energie, ştiinţă cu care s-a dezvoltat în paralel şi de cele mai deseori în strînsă împletire. Totodată, originea acestei radiaţii, care este astăzi bănuită (în sensul că s-a conturat un ansamblu de consideraţii teoretice destul de bine încheiate şi pentru care există dovezi experimentale indirecte, dar, evident, încă nu suficiente dovezi directe), a jucat şi pare-se că va juca un rol din ce în ce mai mare în înţelegerea unui număr important de fenomene ce au loc în aştrii extrem de depărtaţi şi care poate da informaţii preţioase asupra structurii şi originii Galaxiei noastre şi a altor galaxii mai îndepărtate.

Descoperirea radiaţiei cosmice a avut loc la începutul acestui secol în legătură cu primele experienţe ceva mai precise făcute în cursul studiului fenomenului de radioactivitate a nucleelor atomice. În aceste experienţe, fizicienii se ciocneau întotdeauna de faptul că detectoarele de radiaţii, în speţă camerele de ionizare folosite în acea vreme, înregistrau — chiar în absenţa unei surse conştient puse de experimentator în preajma camerei — un curent de ionizare, zis rezidual, care nu putea fi eliminat nici printr-o ecranare foarte îngrijită a camerei faţă de orice surse imaginabile de radiaţii radioactive.

Încercări de a folosi blindaje extrem de groase de materie densă nu au dat rezultate. Fizicienii germani Elster şi Geitel, care au observat primii acest fenomen, au tras concluzia că nu este vorba de o defecţiune de aparat, ci de o radiaţie foarte pătrunzătoare, necunoscută încă la acea vreme. Curînd după aceea, încercînd să elimine posibilitatea ca o radioactivitate încă necunoscută a scoarţei terestre să fie răspunzătoare de acest fenomen, Hess şi Kolhörster au ridicat camere de ionizare la mare altitudine în baloane, încercînd să vadă dacă, depărtîndu-se de Pămînt, obţin scăderea la zero a curentului de ionizare



rezidual. Spre marea lor surprindere însă au constatat că, o dată cu creșterea altitudinii punctului de observație, intensitatea necunoscutelor radiații se mărea neconținut, ca și cum ar fi provenit din stratele superioare ale atmosferei sau chiar din afara ei. Acestui fapt i-a datorat de la bun început numele său radiația cosmică, sau, cum i se spunea în primul deceniu al acestui secol, radiația de „altitudine”. În perioada aceea, cea mai pătrunzătoare radiație cunoscută și studiată era radiația  $\gamma$  a substanțelor radioactive. Prin analogie, s-a presupus inițial că radiația cosmică este formată și ea din radiații  $\gamma$ , adică din cuante de radiații electromagnetice de foarte înaltă frecvență, transportând energii foarte mari. Curînd însă, cercetările au demonstrat că ceea ce predomină în radiația sosită din spațiul cosmic sînt particule încărcate cu sarcină preponderent pozitivă. Astăzi se știe că aceste particule sînt, în marea lor majoritate, nuclee atomice lipsite de învelișul lor de electroni, care se mișcă cu viteze apropiate de viteza luminii, transportînd energii extrem de mari prin spațiul cosmic. Radiația pătrunzătoare observată în atmosferă și la nivelul mării este în cea mai mare parte de proveniență secundară și este datorată interacțiunilor pe care le suferă, cu nucleele atomice și cu electronii atmosferei, radiația provenită direct din spațiul cosmic (și care se numește radiație cosmică primară).

În cele ce urmează ne vom ocupa de următoarele probleme mai importante pe care le ridică radiația cosmică:

- a) Cum poate fi detectată și măsurată radiația cosmică?
- b) Care este natura radiației primare în afara limitelor atmosferei și cum poate fi ea observată acolo?
- c) Ce procese fizice provoacă radiația cosmică primară în trecerea ei prin atmosferă (cum ia naștere radiația secundară)?
- d) Ce efecte are radiația cosmică asupra spațiului cosmic periterestru?
- e) Ce se poate spune la nivelul cunoștințelor de azi cu privire la originea și la mecanismul de accelerare a razelor cosmice primare?

## DETECTAREA ȘI MĂSURAREA RADIAȚIEI COSMICE

Toate metodele de înregistrare a particulelor elementare se bazează, direct sau indirect, pe efectul ionizant al acestora din urmă. Însăși descoperirea radiației cosmice se leagă de curentul de ionizare produs în volumul de gaz al camerelor de ionizare folosite în măsurările radioactive. Unul din instrumentele cele mai uzuale pentru studiul radiației cosmice este contorul Geiger-Müller. El semnalizează trecerea unei particule încărcate rapide fără a da nici un fel de informații asupra vitezei, naturii, masei ei etc. Pentru a obține informații mai complete despre direcția de mișcare, numărul particulelor și semnul sarcinii acestora, se folosesc contori Geiger-Müller în număr mai mare, mergînd în unele cazuri pînă la 5 000, folosind montaje electronice zise „de coincidență”, în care înregistrarea are loc numai dacă un număr predeterminat de contori au fost loviți simultan de particule ionizante.



Combinarea unor asemenea sisteme de contori în care poate fi înregistrată descărcarea fiecărui contor individual (hodoscop) cu acțiunea unui cîmp magnetic foarte intens și extins pe o suprafață suficient de mare permite, datorită devierii în acest cîmp, determinarea semnului și a energiei particulelor încărcate care traversează cîmpul magnetic.

Un instrument potrivit pentru detecția particulelor încărcate și studiul mai amănunțit al traiectoriilor lor este camera cu ceață (camera Wilson), în care traiectoria particulelor încărcate este „materializată” de o diră de ceață. Camera Wilson devine deosebit de eficientă prin comandarea ei cu ajutorul unor contori Geiger-Müller în coincidență și prin folosirea simultană a unui cîmp magnetic care curbează traiectoriile particulelor încărcate în cameră. În ultima vreme a început să joace un rol din ce în ce mai mare o tehnică nouă de vizualizare a traiectoriei particulelor, numită cameră cu scînteie. O asemenea cameră este constituită, în esență, dintr-un șir de condensatoare cu lame plan paralele așezate într-o atmosferă de gaz nobil, în care trecerea unei particule apare ca o descărcare luminoasă (scînteie) ce reproduce „pe secțiuni” traiectoria particulelor în interiorul diferitelor condensatoare. Față de camera Wilson, camera cu scînteie are avantajul că poate fi acționată extrem de rapid (ea poate fi pusă din nou în funcțiune la interval de câteva microsecunde după o fotografie deja luată, în timp ce în camera Wilson sînt necesare așteptări de ordinul cîtorva secunde între două fotografii), precum și avantajul că include în secțiunile ei cantități foarte mari de substanță în care pot avea loc interacțiunile ce urmează a fi studiate. De asemenea ea este foarte comodă de operat și sigură în funcționare necesitînd puțin utilaj mecanic de precizie. În schimb, informația obținută asupra traiectoriilor particulelor este considerabil mai săracă decît în cazul camerei Wilson.

Inabilitatea contorilor Geiger-Müller de a da informații amănunțite asupra energiei și naturii particulelor ce le traversează a făcut necesară elaborarea unor tipuri noi de detectoare electronice. Asemenea detectoare folosite astăzi sînt, în primul rînd, contorii cu scintilație, în care luminescența excitată într-un material fluorescent solid sau lichid este înregistrată de un sistem fotoelectric foarte sensibil, așa-numitul fotomultiplicator electronic, care dă pînă la urmă un semnal proporțional cu cantitatea de energie debitată de particula ionizantă în mediul luminescent („scintilatorul”). Contorii cu scintilație pot fi construiți ușor în dimensiuni mari, ceea ce este esențial în cazul radiației cosmice, și dau informații destul de amănunțite asupra numărului și energiei particulelor ce-i traversează. În schimb, sînt mai costisitori și implică un aparataj electronic mai complex și mai pretențios din punct de vedere calitativ. O variantă a contorilor cu scintilație o reprezintă contorii Cerenkov, în care impulsul luminos este obținut nu prin excitarea fluorescenței moleculelor din detector, ci prin radiația pe care o emit *numai* particulele ce se mișcă printr-un mediu cu o viteză ce depășește viteza de fază a luminii în mediul respectiv. Contorii Cerenkov sînt extrem de sensibili la viteza particulei, de aceea în cazul particulelor de energie foarte mare (cu viteze apropiate de cea a luminii) ei constituie aproape unicul mijloc de discernare a particulelor cu mase diferite și viteze foarte apropiate.



În sfârșit, un alt mijloc de detecție extrem de important pentru particulele din radiația cosmică îl constituie emulsiile fotografice „groase” (nucleare). Acestea sînt strate fotografice a căror sensibilitate, sporită în mod artificial, permite înregistrarea traiectoriei particulelor ionizante individuale cu viteze oricît de mari prin formarea unui șirag de grăunțe de argint care apar în emulsia fotografică pe traiectoria unei particule după ce emulsia a fost expusă și dezvoltată. Privite la microscop, aceste traiectorii permit obținerea de informații foarte prețioase asupra masei, energiei și vitezei particulelor care le-au traversat, prin măsurări extrem de minuțioase ce pot fi făcute la microscopie de foarte mare precizie. Față de celelalte metode de detecție, emulsia fotografică prezintă avantajul că este cumulativă în sensul că poate fi expusă luni de-a rîndul (cumulează toate evenimentele care au avut loc în ea), că este un detector de volum redus care poate opera fără nici un fel de aparataj în orice loc ar fi pus (ceea ce face emulsiile deosebit de valoroase pentru lucrul la mari altitudini, pe baloane-sondă, în rachete și în sateliți). Emulsia nucleară are o rezoluție spațială extrem de bună (de mii de ori mai bună decît a celor mai perfecționate din toate celelalte metode enumerate). Acest fapt permite, de exemplu, măsurări de unghiuri foarte mici ( $10^{-4}$  radiani), intervale de timp foarte scurte și distanțe de ordinul micronilor sau chiar a fracțiunilor de micron.

Pentru studiul particulelor de mare energie, emulsiile nucleare, lipite de suportul uzual de sticlă sau de celuloid, se assemblează în pachete de sute de foi (așa-numitele blocuri de emulsie), care se expun împreună și se studiază separat după dezvoltare. Traietoriile particulelor trec dintr-o foaie de emulsie în altele și sînt reperate cu ajutorul unor sisteme de coordonate imprimare pe emulsii. Lansarea în stratosferă și recuperarea (de obicei din mare) a unor asemenea blocuri de emulsie și extragerea informației conținute în emulsii reprezintă o operație complexă de mare anvergură, la care contribuie de obicei multe laboratoare în cadrul unor vaste colaborări internaționale. Recent, asemenea blocuri de emulsie au fost expuse și pe sateliți artificiali și au fost recuperate la reîntoarcerea acestora pe Pămînt.<sup>1</sup>

## RADIAȚIA COSMICĂ PRIMARĂ

După această scurtă trecere în revistă a „arsenalului” fizicienilor, putem trece la descrierea radiației cosmice primare, așa cum este ea observată la limitele atmosferei terestre.

Radiația cosmică primară este constituită esențialmente din particule încărcate. Acest fapt este dovedit, înainte de toate, de așa-numitul efect de latitudine al radiației cosmice (o scădere marcată a intensității radiației cosmice observate la nivelul mării, atunci cînd deplasăm detectorul de radiații de la pol către ecuator).

Cauza acestei modificări de intensitate rezidă în acțiunea pe care o are cîmpul magnetic al Pămîntului (extins departe în spațiul cosmic) asupra



radiației cosmice primare atunci când ea se apropie de Pământ. Se știe că efectul de deviere al unui câmp magnetic este proporțional cu produsul dintre intensitatea câmpului și distanța parcursă de particula încărcată în câmp. Deși câmpul magnetic al Pământului este foarte slab, traiectoria de mii de kilometri pe care o descrie o particulă cosmică în câmp este suficient de mare pentru ca devierea să atingă valori apreciabile și pentru ca particule de energie relativ mică să fie „reflectate”, adică trimise înapoi în spațiul cosmic, fără să atingă suprafața Pământului sau fără să poată interacționa suficient în atmosferă în așa fel încât particulele secundare pe care le produce să ajungă la suprafața Pământului.

Această acțiune este evident cu atât mai slabă, cu cât particula ce sosește din spațiul cosmic este de energie mai mare.

În acest fel, câmpul magnetic al Pământului devine nu numai un semnalizator pentru existența unei sarcini electrice a particulei (reamintim că numai o particulă încărcată electric în mișcare suferă acțiunea de deviere a unui câmp magnetic), ci și un original „spectrometru” de energii la scară cosmică, care permite selectarea particulelor de diferite energii. Astfel, în timp ce la pol pot atinge Pământul particulele de aproape orice energie, la ecuator pot atinge Pământul numai particule a căror energie depășește aproximativ 15 miliarde eV.

Tot câmpul magnetic al Pământului ne permite să deducem și dacă sarcina particulelor cosmice primare este pozitivă sau negativă. Într-adevăr, particulele care vin pe o direcție înclinată dinspre răsărit sau dinspre apus suferă în mod diferit acțiunea de deviere a câmpului magnetic terestru după cum sarcina lor electrică este pozitivă sau negativă. O experiență foarte ingenioasă, efectuată de savantul sovietic Vernov în jurul anului 1948, a arătat că există o puternică deosebire între numărul de particule cosmice primare ce vin pe o direcție înclinată dinspre răsărit și respectiv dinspre apus și a permis demonstrarea faptului că majoritatea zdrobitoare a particulelor ce vin din spațiul cosmic sînt încărcate electric pozitiv. Curînd, natura particulelor cosmice primare a putut fi stabilită folosindu-se în acest scop emulsii fotografice, trimise, cu ajutorul baloanelor-sondă, la altitudini foarte mari (20–30 km), unde au fost expuse în zbor orizontal timp de cîteva ceasuri. Apoi nacela cu emulsii a fost parașutată și recuperată din mare. Studiul atent la microscop al acestor emulsii a arătat că marea majoritate a particulelor cosmice primare sînt protoni, adică nuclee de hidrogen lipsite de electronul lor periferic. O fracțiune mai mică o constituie particulele  $\alpha$ , adică nuclee atomice de heliu; apar de asemenea un număr relativ mare de nuclee atomice mai grele, începînd cu litiul și parcurgînd întregul sistem periodic al elementelor pînă la fier, de asemenea lipsite complet de învelișul lor electronic. Deosebit de interesantă este răspîndirea relativă a diferitelor nuclee atomice în radiația cosmică primară, răspîndire care se aseamănă foarte mult cu aceea a diferitelor specii chimice în univers (stabilită pe cale spectroscopică în lumina diferiților aștri). Această „compoziție” chimică a radiației cosmice este un indiciu prețios în stabilirea originii radiației pe care o observăm în preajma Pământului.



Particulele cosmice care lovesc atmosfera terestră au, cum se spune, un „spectru“ de energii foarte larg. Cu alte cuvinte, întâlnim particule de energii foarte mici și energii foarte mari. Sub o anumită energie, gama de energii ale particulelor este brusc retezată de acțiunea câmpului magnetic, care aruncă înapoi în spațiul cosmic particulele foarte lente. Spre energii mari, frecvența cu care întâlnim particulele cosmice primare scade extrem de repede, aproximativ cu pătratul energiei, astfel încît, de exemplu, nuclee cu energii de peste 100 de miliarde eV sînt întâlnite de circa 100 de ori mai rar decît nuclee cu energie de peste 10 miliarde eV. Energia mijlocie a unui proton cosmic primar este de ordinul a cîtorva miliarde electronvolți.

Frecvența cu care sosesc asemenea nuclee, așa-numitul „flux“ al radiației cosmice, este de aproximativ un nucleu cu o energie medie de cîteva miliarde de electronvolți pe secundă pe fiecare centimetru pătrat al „limitei“ atmosferei terestre.

Raportat la dimensiunile și la energiile uzuale ale particulelor subatomice, acest flux de energie este uriaș. Într-adevăr, e de ajuns să ne amintim că energiile unor electroni dintr-o lampă de radio uzuală sînt de ordinul cîtorva sute de electronvolți, iar pentru a obține energii de ordinul miliardelor de electronvolți în laborator sînt necesare acceleratoare cu magneți de zeci de mii de tone, de genul sincrofazonului de la Dubna. Spectrul radiației cosmice primare este extrem de larg. Astfel întâlnim nu numai particule cu energii de miliarde de electronvolți, ci chiar (e drept rareori) particule cu energii de miliarde de ori mai mari. Aceste energii sînt atît de uriașe, încît nici cele mai optimiste previziuni nu lasă să se întrevadă că ar putea fi vreodată reproduse pe Pămînt cu ajutorul unor metode artificiale de accelerare. Tocmai acest fapt face din radiația cosmică un auxiliar extrem de prețios al fizicianului modern. Într-adevăr, una din metodele cele mai fructuoase pentru studiul nucleelor atomice și al particulelor elementare este să le bombardăm cu particule de foarte mare energie și să observăm rezultatele reacției. Radiația cosmică ne oferă unica sursă de particule cu energii suficient de mari pentru a duce la bun sfîrșit anumite tipuri de cercetări nerealizabile niciodată în condiții de laborator. În schimb, dacă încercăm să raportăm fluxul de energii al radiației cosmice la necesitățile practice de energie ale omenirii se poate vedea ușor că radiația cosmică aduce în bilanțul nostru energetic o contribuție cu totul derizorie. Un calcul simplu arată că, dacă (prin absurd) am putea colecta întregul flux de particule cosmice primare care cad la limita atmosferei pe teritoriul întregii noastre țări, puterea obținută ar ajunge abia să miște motoarele a cinci tramvaie. Această observație este importantă, deoarece deseori s-au scris și s-au spus lucruri destul de fantastice despre o posibilă utilizare practică a radiației cosmice. Nu rămîne însă mai puțin adevărat că rolul radiației cosmice în dezvoltarea fizicii nucleare a fost și este uriaș și că în prezent se așteaptă din partea imenselor energii cu care este înzestrată fiecare particulă cosmică primară *în parte* un bogat bagaj de informații cu privire la natura și la structura particulelor elementare.



## PROCESELE PROVOCATE DE RADIAȚIA COSMICĂ PRIMARĂ LA TRECEREA PRIN ATMOSFERĂ

Procesele care au loc la trecerea radiației cosmice prin atmosferă sînt tocmai cele care interesează pe specialiștii fizicii nucleare. Pătrunzînd în atmosferă și străbătînd un strat de ordinul a  $100 \text{ g/cm}^2$  (ceea ce, exprimat în lungimi, reprezintă cam întreaga atmosferă deasupra altitudinii de 15 km), particulele cosmice primare suferă în medie o singură ciocnire cu un nucleu atomic din atmosferă. Rezultatul acestei ciocniri este foarte complex și poate fi separat din punct de vedere temporal în două etape. În prima etapă, într-un interval de timp extrem de scurt, de aproximativ  $10^{-23} \text{ s}$ , protonul primar interacționează direct numai cu unul sau rareori cu doi sau trei nucleoni ai nucleului ciocnit. Rezultatul acestei interacțiuni directe este degajarea unei energii enorme într-un volum extrem de mic de ordinul razei nucleonului ( $10^{-13} \text{ cm}$ ). Această concentrare enormă de energie duce la apariția de particule noi, care nu existau ca atare înainte de ciocnire și care sînt create pe seama energiei de mișcare uriașă a particulei incidente. În marea lor majoritate, aceste particule sînt mezonii, particule intermediare ca masă între nucleoni și electroni. Deosebit de abundent este generat un anumit tip de mezonii, așa-numiții mezonii  $\pi$ , care, după concepțiile moderne, sînt răspunzători pentru forțele mari ce leagă lălmăș protonii și neutronii în nucleele atomice. Mezonii  $\pi$ , împreună cu nucleonul ciocnitor și nucleonii ciocniți, părăsesc într-un timp extrem de scurt nucleul atomic ciocnit, care rămîne totuși „excitat”, deoarece în cursul ciocnirii i se transmite și lui o fracțiune (foarte mică) din energia impactului.

Această excitație duce la aceea că, după un timp foarte lung în comparație cu durata propriu-zisă a interacțiunii directe care a creat mezonii (aproximativ  $10^{-16} \text{ s}$ ), nucleul ciocnit „se evaporă”, adică emite protoni, neutroni și particule  $\alpha$  cu energii de mișcare mult mai mici decît cea a particulei ciocnitoare și a particulelor rezultate din primul moment al ciocnirii. Deosebirea aceasta mare dintre particulele create în ciocnire „directă”, care constituie așa-zisa jerbă nucleară, și rezultatul evaporării nucleului ciocnit nu rezidă numai în diferența de timp și în transferul cu totul diferit de energie dinspre particula incidentă spre particulele secundare, ci și în repartiția după unghiuri a particulelor secundare emise. În timp ce particulele din primul proces (particulele jerbei nucleare) sînt adunate într-un mănunchi foarte îngust, concentrat în jurul direcției de mișcare a particulelor primare, particulele rezultate din „evaporarea” nucleului sînt distribuite izotrop în spațiu, înțelegîndu-se prin aceasta că în toate direcțiile spațiului se emite un număr aproximativ egal de particule. După cum vom vedea, acest ultim fenomen are o importanță hotărîtoare pentru apariția briurilor de radiație ale Pămîntului. După natura lor, particulele jerbei nucleare se comportă într-un mod foarte diferit la trecerea lor prin atmosferă. Cea mai mare parte din energie rămîne concentrată de obicei pe un proton sau neutron, capabil să repete la altitudini mai mici în atmosferă procesul primar (la energie ceva mai mică). Mezonii  $\pi$  creați în interacțiunea inițială sînt de trei feluri: pozitivi, negativi și neutri. Mezonii



$\pi$  pozitivi și negativi pot întâlni în drum un nucleu atomic și produc o nouă jerbă nucleară de energie sensibil mai mică decât energia particulei primare. A doua posibilitate este ca mezonii  $\pi$  încărcăți să sufere o dezintegrare radioactivă spontană în mezonii  $\mu$  și neutrino. Mezonii  $\mu$  (sau, mai precis, miuonii, cum sînt numiți în momentul de față, deoarece, după toate caracteristicile lor fizice în afară de masă, ei sînt diferiți de mezonii  $\pi$ , sînt incapabili de interacțiuni nucleare. Cu alte cuvinte, ei pot practic traversa un nucleu atomic fără ca să se întîmple nici un proces nuclear.

Deoarece, la dezintegrarea în zbor a mezonilor  $\pi$ , miuonii preiau practic întreaga energie de mișcare a mezonilor  $\pi$ , rezultă că vom avea în atmosferă un flux intens de miuoni, deci de particule grele cu masa apropiată de aceea a mezonului  $\pi$ , care, din cauza incapacității lor de interacțiune nucleară, străbat distanțe mari și grosimi foarte mari de material. Tocmai miuonilor de mare energie le datorăm radiația cosmică secundară, observată în atmosferă și la nivelul mării, marea ei putere de pătrundere. Noi regăsim după aceea la nivelul mării sub strate groase de plumb, acești miuoni pe care îi vedem pătrunzînd și în adîncul minelor și pînă în fundul oceanelor, unde mai pot fi încă detectați.

Cu totul diferit se comportă mezonii  $\pi$  neutri. Aceste particule au o viață medie extraordinar de scurtă ( $10^{-16}$  s) și se dezintegrează spontan, în locul unde au fost create, în doi fotoni care preiau întreaga energie a mezonului  $\pi^0$ . Deoarece mezonii  $\pi$  neutri au energii și direcții de mișcare foarte asemănătoare cu ale mezonilor  $\pi$  încărcăți, rezultă că fotonii care iau naștere din mezonii  $\pi$  neutri vor transporta cu ei un flux de energie comparabil cu cel al mezonilor  $\pi$  încărcăți și vor fi de găsit la aproximativ aceleași unghiuri față de particula primară ca și mezonii  $\pi$  încărcăți. Din acest moment intră în funcțiune un mecanism complex de creare de particule noi, cu totul distinct de procesele nucleare pe care le provoacă radiația cosmică primară. Este vorba de așa-zisul mecanism electromagnetic de cascadă, ilustrat în figura 1. Fotonii născuți din dezintegrarea mezonilor  $\pi$  neutri, interacționînd cu nuclee atomice, convertesc sau, cum se spune de obicei, generează o pereche de particule electron-pozitron, care își împart (atît în masa lor de repaus, cît și în energia lor de mișcare) energia fotonului care i-a creat. Astfel, fiecare foton este înlocuit cu două particule: un electron pozitiv și unul negativ, care, mișcîndu-se prin atmosferă și interacționînd cu nucleele atomice, sînt din cînd în cînd frînați și emit din cauza frînării din nou cîte un foton, căruia-i transmit o fracțiune apreciabilă (în medie cam jumătate) din energia lor de mișcare. Conversia repetată a acestor fotoni în perechi și emisia de noi fotoni de frînare la ciocnirea electronilor din perechi cu nucleele atomice duce la o foarte rapidă înmulțire a numărului de particule și totodată la o fragmentare a energiei depuse inițial în primii fotoni pe care i-a creat mezonul  $\pi$  la dezintegrarea sa. Această înmulțire „în cascadă” a particulelor ușoare (fotoni și electroni) duce la apariția unei componente a radiației cosmice de proveniență secundară, care poartă numele de „componentă moale”, deoarece (din cauza înmulțirii rapide și a scăderii energiei fiecărei particule) electronii și fotonii sînt ușor absorbiți de un strat relativ subțire de materie (circa 10 cm Pb). Prin aceasta ei se deo-



sebesc fundamental de miuoni, care, din cauza masei lor mari, nu suferă aproape de loc pierderi de energie prin radiația de frinare și deci contribuie într-un mod neglijabil la apariția componentei moi. Miuonii pot traversa comod grosimi foarte mari de substanță.

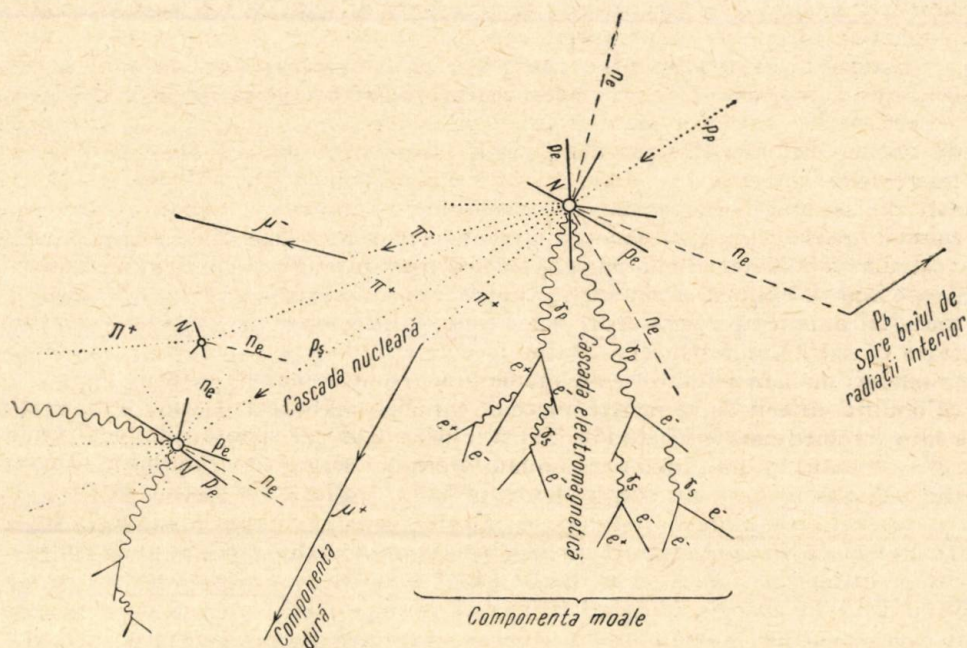


Fig. 1. Ilustrare schematică a evoluției radiației cosmice secundare în atmosfera Pământului.

$p_p$  — proton cosmic primar;  $p_s$  — proton energie secundar;  $N$  — nuclee atomice din atmosferă;  $p_e, n_e$  — protoni și neutroni lenți rezultați din „evaporarea” nucleelor ciocnite;  $\pi^+, \pi^-$  — mezonii încărcăți;  $\gamma_\pi$  — fotoni născuți din dezintegrarea mezonilor  $\pi$  neutri;  $e^+, e^-$  — perechi electron-positron create prin conversia fotonilor;  $\gamma_s$  — fotoni secundari (de frinare);  $\mu^+, \mu^-$  — miuoni rezultați din dezintegrarea mezonilor  $\pi$  încărcăți.

În acest fel, radiația cosmică secundară ajunge să aibă la altitudinea munților sau la nivelul mării două componente fenomenologic diferite, în speță componenta dură, formată din miuoni, și componenta moale, formată din electroni (pozitivi și negativi) și fotoni proveniți din cascada electromagnetică. Faptic coexistă în permanență cu aceste două componente o a treia, numită componenta nuclear-activă, formată din protonii primari care au reușit să scape unei interacțiuni pînă la nivelul de observație și din protonii, neutronii și mezonii  $\pi$  secundari generați în procesul de cascadă nucleară ce se dezvoltă treptat în adîncimea atmosferei. Tocmai acest proces nuclear de cascadă, în care nucleonii, reținîndu-și cea mai mare parte din energie, transportă în diferite straturi ale atmosferei energia protonului primar, este răspunzător pentru regenerarea permanentă a componentei moi și a celei dure la diferite altitu-



dini în atmosferă și pentru apariția chiar la nivelul mării a unui număr apreciabil de interacțiuni nucleare. În acest fel, atmosfera devine un uriaș laborator de studii de fizică nucleară. Dacă protonii sau nucleele mai grele primare aveau o energie deosebit de mare (de exemplu depășind  $10^{14}$  eV), atunci înmulțirea particulelor secundare prin procesele de cascadă nucleare și electromagnetice începe să ia proporții uriașe.

Numărul total de particule creat începe să atingă cifre de milioane, iar aria pe care se împrăstie ele (prin neconținuta mărire a unghiurilor atât de creare a particulelor, cât și de împrăștiere a lor în nucleele atmosferei), ia proporții de ordinul kilometrilor pătrați. Astfel, într-un interval de timp de ordinul microsecundelor sau mai scurt, o arie de ordinul câtorva kilometri pătrați este dintr-o dată împrăscată cu o adevărată ploaie de particule, care poartă numele de jerbă atmosferică largă. Jerbele atmosferice largi sînt aproape unicul nostru mod de detecție pentru particule cosmice primare cu energii foarte mari. Acest fapt se explică prin aceea că după cum am văzut, spectrul de energii al radiației cosmice primare cade foarte repede, adică particule de energii foarte mari se întîlnesc foarte rar. Dacă, de exemplu, vrem să obținem particule de energii depășind  $10^{12}$  eV cu ajutorul blocurilor de emulsii nucleare expuse în balon, atunci cifrele următoare sînt edificatoare: un bloc de emulsii de ordinul a 20 l înregistrează într-un zbor de 8 h cîteva zeci de interacțiuni depășind  $10^{13}$  eV și în cel mai bun caz o interacțiune cu energia primarului depășind  $10^{14}$  eV. Costul unui asemenea zbor este foarte ridicat, iar preparativele, executarea lui și explorarea emulsiilor, implică munca a 4—5 laboratoare mari timp de circa un an de zile. O instalație de aproximativ 200 de contori Geiger-Müller dispuși pe o arie de ordinul a  $1 \text{ km}^2$  înregistrează zilnic cîteva sute de evenimente cu energia depășind  $10^{14}$  eV și aproape zilnic evenimente depășind  $10^{16}$  eV; de cîteva ori pe lună pot fi înregistrate evenimente cu energii de ordinul a  $10^{19}$  eV. Se pune în mod firesc întrebarea: de ce se fac marile eforturi pentru expunerea de blocuri de emulsie în stratosferă dacă randamentul numeric al detecției este atât de mic. Explicația constă în bogăția mare de informație pe care o poate aduce despre fenomen chiar numai un singur eveniment înregistrat prin metoda emulsiilor nucleare. În studiul jerbelor atmosferice largi obținem în cel mai bun caz o imagine destul de incompletă despre repartiția spațială a particulelor secundare, terțiare etc., despre numărul lor global și despre raportul dintre diferitele componente ale jerbei largi. În schimb, în blocul de emulsii se poate observa particula primară, se poate ști natura nucleului ciocnit, se pot măsura unghiurile fiecărei particule ieșite din interacțiune și deseori putem evalua energiile unei bune părți dintre ele. Astfel uneori informația obținută dintr-un singur eveniment înregistrat în emulsii este mult mai completă decît sutele de evenimente înregistrate cu instalațiile de contori. În schimb, jerba poate fi observată într-un bloc de emulsii numai pe distanțe relativ mici, în timp ce dezvoltarea ei complexă și ansamblul proceselor prin care energia este transferată treptat de la componenta nucleară activă către componenta moale și cea dură pot fi studiate mult mai bine în cadrul jerbei atmosferice largi. Astfel cele două metode de cercetare se completează una pe alta în mod fericit.



Nu este cazul să insistăm aici asupra rezultatelor concrete pe care le-a adus pentru fizica nucleară studiul radiației cosmice. Pentru a ilustra marele rol jucat de radiația cosmică în îmbogățirea cunoștințelor noastre despre fizica particulelor elementare este suficient să menționăm aici faptul că generarea multiplă de mezonii a fost observată pentru prima oară în radiația cosmică; în procesele fizice din radiația cosmică a fost observată pentru prima oară cascada electromagnetică; aproape totalitatea particulelor elementare relativ stabile pe care le cunoaștem astăzi (înțelegem prin aceasta miuonii, mezonii  $\pi$ , hiperonii, antiprotonii, ca să nu mai vorbim de pozitronii) au fost observate pentru prima oară în radiația cosmică. Numai după aceea asemenea particule au fost produse pe cale artificială în laborator. Este drept că foarte multe din procesele detectate inițial cu ajutorul radiației cosmice au putut fi studiate mult mai în amănunt, respectiv legile și regularitățile lor cunoscute mai bine în momentul când cu ajutorul marilor acceleratoare de particule au fost obținute fascicule de mare energie monocinetice, paralele, dirijate și perfect controlabile. Nu rămâne mai puțin adevărat că, din cauza energiilor foarte mari pe care le pune în joc, radiația cosmică ne prezintă natura particulelor elementare sub o varietate de aspecte mult mai mare decât experiențele relativ înguste care se fac în mod organizat la acceleratoare. Ca atare, studiul radiației cosmice rămâne și mai departe promițător ca deschizător de drumuri, ca purtător de informație despre procese de energie extrem de mare, ceea ce se traduce, în ultimă instanță, prin sondarea materiei la distanțe extrem de mici și la intervale de timp extrem de scurte.

## EFFECTELE RADIAȚIEI COSMICE ASUPRA SPAȚIULUI COSMIC PERITERESTRU

Vom trece acum la un fenomen legat numai indirect de radiația cosmică și care deseori este identificat în limbajul profanului cu radiația cosmică, și anume la brîurile de radiație ale Pămîntului. În fond, este relativ surprinzător că brîurile de radiații au fost descoperite atît de tîrziu din moment ce existau principial toate premisele teoretice pentru a bănuii existența lor.

Cu ocazia zborului unuia dintre primii sateliți artificiali ai Pămîntului, fizicianul american Van Allen a remarcat că, la o anumită altitudine, în mod sistematic contorul Geiger-Müller instalat pe satelitul respectiv înceta să funcționeze.

Este știut că orice contor Geiger-Müller are un așa-zis timp mort, adică un interval de timp de ordinul cîtorva sute de microsecunde care urmează fiecărei descărcări și în care contorul este incapabil să înregistreze o nouă particulă. Dacă numărul de particule care cad pe contor în unitatea de timp este atît de mare încît timpul mort creat de o particulă se suprapune cu incidența particulei următoare, atunci contorul practic „se blochează”, adică nu mai poate număra nimic, deoarece întregul său „timp de funcționare” este ocupat



de timpi morți. Ceea ce în primul moment se credea că este un defect al aparatului s-a dovedit a fi după aceea un fenomen nou și nebănuit, anume faptul că periodic satelitul, ajungînd la o anumită distanță de Pămînt, pătrundea într-o regiune în care radiația „cosmică” creștea foarte mult peste nivelul ei „normal”. Cu timpul s-a ajuns la concluzia că intensitatea sporită de radiație observată de Van Allen scade cu depărtarea de la Pămînt, dar crește apoi din nou, scăzînd apoi cînd racheta cosmică se depărtează foarte mult de Pămînt. Se părea că Pămîntul este înconjurat de niște zone de radiație intensă, care au primit numele de centuri sau brîuri de radiații. Prima centură, numită „interioară”, este situată la o distanță de circa 1 500 km, iar a doua „exterioară”, este situată la circa 5—6 raze pămîntești depărtate de Pămînt.

Natura acestor brîuri de radiații în care intensitatea radiației o depășește de mii de ori pe cea „normală” din spațiul cosmic, adică cea datorată radiației cosmice primare care umple spațiul cosmic în mod omogen, a putut fi lămurită de îndată ce cele două brîuri au fost sondate cu detectoare de radiații capabile să discearnă diferite tipuri de particule, adică în momentul cînd contorii Geiger-Müller au fost înlocuiți cu contori de scintilație și contori Cerenkov, precum și cu emulsii nucleare expuse de sateliți, recuperate și dezvoltate pe Pămînt. Cercetările au arătat că brîul interior este constituit în mare parte din protoni de energie mijlocie, adică de ordinul a  $10^8$  eV, în timp ce brîul exterior este constituit aproape în întregime din electroni de energii relativ mici (mai mici de 1 MeV).

Cu rînd, o teorie care a explicat originea acestor două brîuri a fost prezentată simultan de Singer și de Ciudakov. După cum am mai spus, premisele pentru înțelegerea existenței brîurilor existau cu mult înainte de descoperirea lor. După cum s-a mai arătat, interacțiunea radiației cosmice primare cu nucleele atmosferei duce nu numai la apariția de jerbe nucleare, ci simultan și la „evaporarea” nucleului ciocnit.

Între fragmentele nucleare care rezultă din „evaporare” există un număr mare de neutroni emiși izotrop, adică practic cu egală probabilitate de răspîndire în toate direcțiile spațiului.

Ca atare, o parte din acești neutroni sînt emiși „înapoi” în raport cu direcția de incidență a particulelor cosmice primare, adică sînt emiși spre exteriorul atmosferei. Neutronii sînt particule instabile și „mor” spontan după o viață medie de aproximativ 8 min, transformîndu-se în protoni, electroni și neutrini.

Protonii rezultați din dezintegrarea în zbor a acestor neutroni sînt cei care constituie brîul interior de radiație. Ei sînt prinși de cîmpul magnetic pămîntesc ca într-un fel de capcană și obligați să se învîrtă într-un brîu inelar care înconjură Pămîntul. Acest brîu are cea mai mare grosime în preajma ecuatorului, subțindu-se foarte mult către poli.

Brîul exterior de radiație este constituit nu din electroni de proveniență „terestră”, ci din electroni de mică energie proveniți de la Soare, mai ales în timpul erupțiilor solare. Ca atare, propriu-zis nici una din cele două radiații întîlnite în „brîurile” Pămîntului nu este de proveniență cosmică, înțelegînd prin aceasta că originea acestor radiații ar fi situată undeva în afara



sistemului nostru solar. Briul interior este totuși relativ direct legat de radiația cosmică, fiindcă neutronii care îl alimentează cu protoni sînt rezultatul nemijlocit al interacțiunii radiației cosmice primare cu nucleeele atmosferei pămîntești.

Briurile de radiație prezintă un interes mare din două puncte de vedere. Pe de o parte, dat fiind că stabilitatea lor este asigurată de cîmpul magnetic pămîntesc, structura și variațiile spațiale și temporare ale briurilor sînt legate foarte strîns de modificările cîmpului magnetic terestru. Prin aceasta, briurile de radiație devin un obiect de foarte mare interes pentru geofizicieni. În această ordine de idei este interesant de remarcat că nici un fel de briu de acest gen n-a fost întîlnit de rachetele sovietice care au atins sau au înconjurat Luna, ceea ce a demonstrat absența unui cîmp cît de cît sensibil al Lunii (existența unui briu de radiații este o consecință directă a prezenței unui cîmp magnetic la corpul ceresc respectiv). Al doilea motiv de interes pentru briurile de radiații constă în pericolul biologic pe care-l pot prezenta pentru navigatorii cosmici. Este știut că radiația cosmică secundară — în care trăim cufundați ca într-o mare de radiații — nu prezintă un pericol biologic sensibil pentru noi. Abia la altitudini foarte mari (adică la limita atmosferei, unde radiația atinge așa-zisul nivel-limită sau platoul cosmic, nivelul total al dozei de radiație pe care o transportă radiația cosmică primară și care acționează asupra unui organism devine comparabil cu limita superioară admisă din motive de securitate în laboratoarele de fizică nucleară. Aceasta înseamnă că un navigator, deplasîndu-se în spațiul cosmic departe de briurile de radiație ale corpurilor cerești, trebuie să poată suporta în condiții foarte bune efectul radiației cosmice primare, cu condiția ca în preajma lui să nu fie prea mult material în care să aibă loc o degradare a energiei și o multiplicare a particulelor cosmice primare. Amintim că efectul biologic al unei radiații nu este proporțional cu energia ei, ci de cele mai multe ori dimpotrivă (particulele rapide ionizează mai puțin și deci debitează mai puțină energie în țesutul organic). Ca atare, interpunerea unui strat de materie între radiație și organism nu scade pericolul, ci îl mărește, deoarece dintr-o particulă cu ionizare minimală apar uneori sute de particule cu ionizare minimală și deci în aceeași proporție se mărește doza de radiații biologic dăunătoare. Cu totul altfel stau lucrurile în briul de radiații, unde, după toate calculele și măsurările făcute, doza biologică devine inadmisibilă pentru o existență normală a organismului omenesc.

Se impun deci măsuri serioase pentru ca la ieșirea din briurile de radiații cosmonauții să nu sufere acțiunea unei doze prea vătămătoare. Două posibilități apar aici, una dintre ele fiind traversarea cu viteză extrem de mare a briului, astfel încît doza cumulată de organism să rămînă în limitele admisibile. Această soluție pare destul de puțin realizabilă într-un viitor apropiat. O a doua soluție, mult mai realistă, constă în ieșirea din briul de radiații prin zona polară [aici briurile sînt deosebit de subțiri din cauza conformației speciale a liniilor de forță magnetice ale cîmpului magnetic terestru în preaj-



ma polilor.] Din ambele motive, studiul brîurilor de radiație joacă un rol din ce în ce mai mare în programul de cercetare al sateliților artificiali. Ultimul pas mare în această direcție a fost făcut prin lansarea simultană a sateliților Electron 1 și Electron 2 în Uniunea Sovietică, sateliți care sondează simultan cele două brîuri.

## ORIGINEA ȘI MECANISMUL DE ACCELERARE A RADIAȚIEI COSMICE PRIMARE

Să ne ocupăm pe scurt de procesele care înzestreză particulele cosmice primare cu uriașele energii pe care le au în preajma Pămîntului. Fizicienilor le sînt demult cunoscute o seamă de metode și instalații pentru accelerarea particulelor încărcate. Betatronul, ciclotronul, sincrotronul sînt utilaje cu care în mod curent accelerăm particule care pleacă de la energii extrem de mici (de ordinul sutelor de eV) pînă la energii de ordinul miliardelor de eV și recent chiar de a celor de zeci de miliarde de eV.

Se pune problema: care sînt în natură procesele capabile să dea particulelor cosmice energii cu valorile imense pe care le întîlnim și care merg pînă dincolo de  $10^{18}$  eV? (Amintim aici faptul interesant că cele mai mari jerbe atmosferice largi înregistrate pînă în prezent corespund unei energii a particulei primare de circa 1 J, ceea ce înseamnă că pe un proton sosește concentrată o energie capabilă să dea efecte macroscopice.) Teoria care stă la baza tuturor dezvoltărilor ulterioare ale cunoștințelor noastre despre originea radiației cosmice a fost dată în 1949 de marele fizician italian Fermi. Teoria lui Fermi pleacă de la faptul (stabilit pe cale astronomică și radioastronomică) că în spațiul cosmic, unde densitatea materiei este extraordinar de redusă (circa 1 atom de hidrogen pe centimetru cub) există condensări de materie, așa-zii nori de materie difuză, intens ionizată, care transportă cu sine, în mișcarea lor dezordonată prin spațiul cosmic, cîmpuri magnetice relativ slabe, dar extinse pe spații extrem de mari. Fermi a arătat că, dacă există în spațiul cosmic particule încărcate (în speță nuclee atomice lipsite de electronii lor) avînd viteze ce depășesc o anumită valoare-limită, numită viteza de injecție, atunci la pătrunderea într-un asemenea nor au loc, pe de o parte, procese de pierdere de energie (pentru ionizarea atomilor încă neionizați din norul de materie difuză), iar pe de altă parte un cîștig de energie, datorat devierii particulei încărcate în cîmpul magnetic al norului *în mișcare*. Este știut că un cîmp magnetic static poate numai să devieze traiectoria unei particule încărcate, dar nu să-i comunice un exces de energie. Dacă însă cîmpul magnetic este mobil (ceea ce este echivalent cu a spune că intensitatea lui este variabilă în timp), atunci apare un fenomen de inducție analog celui folosit în betatroane și particula poate primi un exces de energie. Lucrurile decurg ca și cum norul ar constitui un



fel de oglindă mobilă pe care particula s-ar reflecta, primind o mică fracțiune din energia de mișcare a oglinzii. Fermi a dat o teorie statistică completă a acestui fenomen și a arătat că, în medie, pierderile de energie prin ionizare sînt compensate și chiar depășite de câștigul de energie prin interacțiunea cu câmpul magnetic. Astfel particula câștigă puțin cîte puțin energie.

În decursul unei vagabondări de milioane de ani prin spațiul cosmic, particulele, întîlnind de repetate ori asemenea nori, sînt încetul cu încetul accelerate și Fermi a arătat că atît valorile energiei la care se ajunge cît și distribuția după energie a particulelor primare (spectrul radiației cosmice primare) pot fi regăsite foarte bine pornind de la teoria sa. Se punea numai problema de unde își primesc particulele cosmice energia de injecție, adică cum ajung ele de la energiile foarte mici cu care se găsesc în atmosferele stelare la energiile de injecție, care totuși sînt destul de apreciabile (de ordinul milioanele de eV sau mai mult). Multă vreme n-a putut fi găsită o explicație mulțumitoare a acestui fenomen. Abia relativ recent, astrofizicienii sovietici Ghinsburg și Șklovski, plecînd de la o serie de observații radioastronomice, au putut da o teorie consecventă a procesului de injecție a nucleelor cosmice în „mecanismul Fermi”. Conform acestor teorii, nucleeele cosmice primare sînt emise mai ales din exploziile stelelor nove și supernove. În aceste explozii există condiții electromagnetice deosebite (așa-numitele unde magnetohidrodinamice) care permit accelerarea nucleelor din atmosfera stelei pînă la energiile cu care, rătăcind prin spațiul cosmic, pot deveni sensibile la mecanismul de accelerare enunțat de Fermi. Observații asupra radiației de unde radio a nebuloaselor, au demonstrat existența unor electroni cu energii suficient de mari pentru a putea fi considerați ca partenerii negativi ai nucleelor cosmice preaccelerate în explozia supernovei din care provine nebuloasa respectivă.

Astfel radiația cosmică observată la limita atmosferei devine un instrument eficace pentru studiul unor obiecte cosmice îndepărtate de noi, aflate la distanțe cu adevărat astronomice. E semnificativ faptul că ansamblul cunoștințelor pe care le avem despre cîmpurile magnetice existente în Galaxia noastră dovedește că în galaxie nu se întîlnesc cîmpuri magnetice capabile să rețină în limitele ei particule cu energii mai mari de  $10^{18}$  eV. Aceasta înseamnă că particule cu energia de peste  $10^{18}$  eV (cum observăm în ultima vreme în jerbele atmosferice largi) trebuie să fie obligatoriu de proveniență extragalactică, în timp ce acest lucru nu poate fi afirmat despre fiecare particulă cosmică de energie mai mică. Prin aceasta, studiul jerbilor atmosferice largi de extrem de mare energie, și mai ales corelația lor cu diferite fenomene astronomice, poate deveni un mijloc direct de studiu al obiectelor cosmice extragalactice.

•

Nu sînt nici 50 ani de cînd radiația cosmică constituia un obiect misterios și apt pentru speculații științifico-fantastice. Progresul mare al fizicii nucleare a înzestrat pe oamenii de știință cu mijloacele necesare pentru a



acea față a planetei îndreptată direct spre planetă sau, ceea ce este același lucru, să ia startul când cosmodromul se află pe o linie directă cu acea planetă. Or, datorită rotirii Pământului în jurul axei polilor, un cosmodrom de la ecuator, de exemplu, îndeplinește această condiție astfel: la miezul nopții pentru zborul spre Marte și la amiază pentru zborul spre Venus.

## PERSPECTIVE ALE ZBORULUI INTERPLANETAR

Mai întâi noi sonde cosmice automate de apropiere, apoi sonde cu cădere pe suprafața fiecărei planete, apoi stații automate instalate pe Marte și pe Venus și după aceea nave cu echipaj în zbor de ocol sau chiar cu debarcare pe suprafața planetelor vecine — iată, schițate extrem de sumar, principalele linii de perspectivă cosmonautică în domeniul navigației interplanetare.

Dintre aceste obiective reține atenția, prin semnificația deosebită a faptului, zborul omului spre Venus și spre Marte.

O cale interesantă de realizare a acestui zbor ar putea-o constitui folosirea navelor orbitale (planete artificiale) ca „platforme” spațiale comode și economice.

Să vedem cum poate fi utilizat un asemenea mijloc pentru explorarea fiecăreia din cele două planete.

Decolînd de pe Pământ sau, și mai bine, dintr-o stație-satelit, nava orbitală ajunge în vecinătatea planetei Venus după 81 de zile de zbor. Și cum Venus are o atmosferă densă, echipajul poate părăsi „platforma”, îmbarcîndu-se în planoare cosmice încărcate cu tot ce este necesar pentru executarea misiunii de cercetare în bune condiții. Acum se poate proceda, ca și în cazul zborului lunar, la plasarea temporară a „platformei” spațiale pe o orbită în jurul planetei cu efectuarea observațiilor din această orbită sau desprinderea navei cu echipaj de „platformă” și „popasul” ei orbital. În ultima variantă, platforma și-ar continua zborul în jurul Soarelui apropiindu-se de acesta pînă la distanța de 76 000 000 km, după care s-ar îndrepta spre punctul de start. Au trecut 8 luni de la start, deci Pământul nu se va găsi în acel punct, ci undeva pe orbita sa circumsolară. Din această cauză, „platforma” ar mai face un ocol „liber” în jurul Soarelui, și încă unul ( $3 \times 8 = 24$  de luni) pînă ce ar regăsi planeta în punctul de start.

În această situație, expediția ar trebui să aștepte pe Venus 568 de zile ( $2 \times 365$  de zile, timpul necesar Pământului să revină în punctul de întîlnire cu „platforma” spațială, minus  $2 \times 81$  de zile, durata efectivă a zborului dus-întors). După expirarea acestui termen, debarcaderul s-ar afla din nou în apropierea planetei Venus, astfel încît astronautilor nu le-ar fi greu să-și apropie nava de acest „debarcader” cosmic pentru a se reîntoarce cu el „acasă”.

Exact în aceeași manieră se poate călători, cu consum minim de combustibil, și spre Marte (fig. 11), în care caz însă durata zborului ar fi mai mare: 2 ani și 8 luni, stabilit astfel: 256 de zile zborul pînă la Marte; 454 de zile timpul de așteptare pe planetă; 256 de zile zborul retur.



Calcululele arată că, dacă viteza maximă a navei interplanetare la plecarea în misiune ar fi de 14,3 km/s, durata călătoriei pînă la Marte s-ar scurta la 156 de zile (față de 256 de zile); dacă valoarea vitezei maxime ar fi de 15,9 km/s, același itinerar ar fi parcurs în numai 120 de zile, iar dacă s-ar imprima rachetei cosmice în perioada activă de zbor o viteză de cîteva sute de km/s, călătoria pînă la Marte s-ar putea efectua într-o singură săptămînă.

Raportate la posibilitățile actuale ale motoarelor-rachetă, care folosesc combustibili chimici, aceste cifre ar putea să ducă la formularea părerii că posibilitățile de scurtare a duratei zborului interplanetar vor rămîne încă multă vreme în cadrul teoretic. În realitate, situația este cu totul alta.

Cercetările ce se fac în prezent pentru construirea de motoare-rachetă cu propulsie nucleară, electrice și cu plasmă sînt promițătoare în această privință. Cu ajutorul lor vor fi obținute viteze de zbor de 10–20 km/s chiar în prima etapă a întreprinderii lor. După aceea, prin perfecționări corespunzătoare aduse acestei tehnici, se vor putea asigura navelor cosmice viteze de zbor și mai mari, de 30–50 km/s.

Utilizarea noilor instalații de propulsie și de forță va modifica structura diverselor proiecte tehnice de efectuare a zborului cosmic, în sensul simplificării lor.

Nu începe nici o îndoială că omenirea, prin eforturi comune, va izbuti să înlăture treptat toate dificultățile ce stau în calea rezolvării pasionantei probleme a zborului interplanetar, aducînd din ce în ce mai aproape de posibilitățile tehnice-științifice curente minunata perspectivă a trimiterii de expediții cosmice științifice pe alte planete.

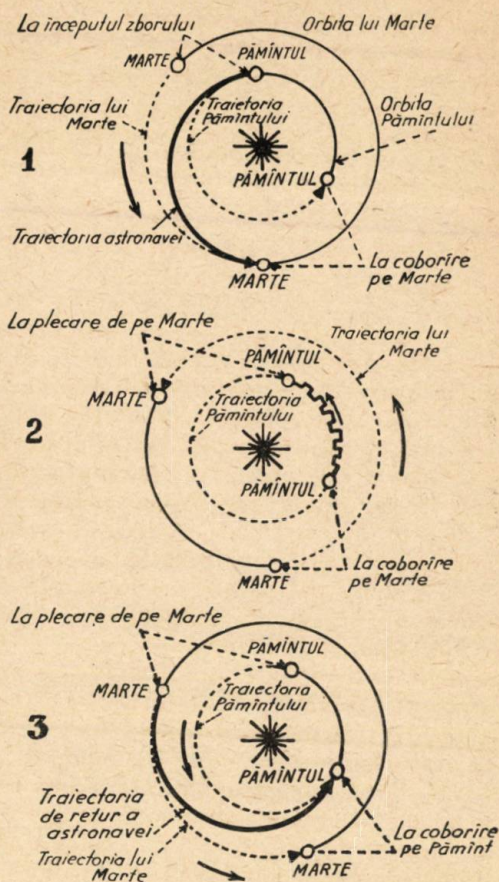


Fig. 11. Schema fazelor de desfășurare a zborului interplanetar pe traseul Pămînt-Marte





Redactor resp. de carte : DINU IOANIȚIU NICHITA  
Tehnoredactor : GHEORGHE POPOVICI

---

*Dat la cules 13.10.1964. Bun de tipar 09.03.1965. Tiraaj 15 000+125 ex. legate  $\frac{1}{1}$  + 25 ex. lux. Hirtie scris II A. 80 g/m<sup>2</sup>. Format 70×100/16. Coli editoriale 25,26. Coli de tipar 22,00+2 planșe. A. 12 448. Indici de clasificare zecimală : pentru bibliotecile mari 5/6, pentru bibliotecile mici 5/6.*

---

Tiparul executat sub comanda nr. 40 849 la Combinatul Poligrafic „Casa Științei”, Piața Științei nr. 1, București — R.P.R.

